



TUGAS AKHIR - MO.141326

**ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS DAN BENTUK KAMPUH
PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP KEKUATAN *IMPACT*
SAMBUNGAN *BUTT JOINT* PADA PLAT BAJA A36**

M Syujuan Al Khotasa

NRP. 4312 100 085

Dosen Pembimbing

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST.,MT., Ph.D

Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya



FINAL PROJECT - MO.141326

**ANALYSIS THE EFFECT OF CURRENT VARIATION AND GROOVE VARIATION
IN SMAW CONCERNING TO THE IMPACT STRENGTH OF BUTT JOINT
CONNECTION ON THE A36 STEEL PLATE**

M Syujuan Al Khotasa

NRP. 4312 100 085

Supervisors

Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST.,MT., Ph.D

Department of Ocean Engineering

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

**ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS DAN BENTUK KAMPUH PADA
PENGELASAN SMAW TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* SAMBUNGAN *BUTT*
JOINT PADA PLAT BAJA A36**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi
Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

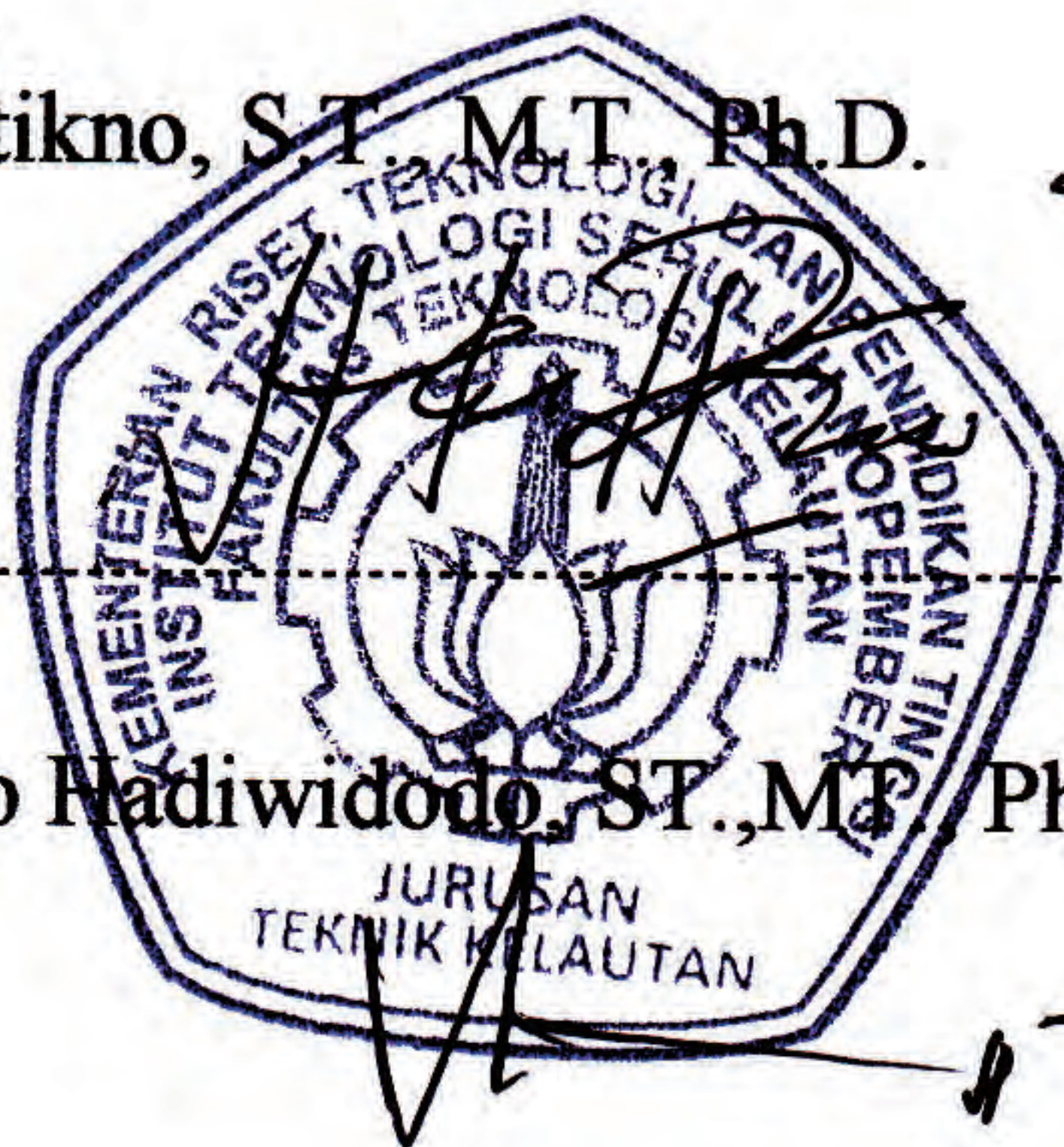
M SYUJUAN AL KHOTASA

NRP. 4312 100 085

Disetujui oleh :

1. Herman Pratikno, S.T., M.T., Ph.D.

(Pembimbing 1)



2. Yoyok Setyo Nadiwidodo, S.T., M.T., Ph.D

(Pembimbing 2)

3. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D.

(Penguji 1)

4. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D.

(Penguji 2)

5. Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T.

(Penguji 3)

SURABAYA, JANUARI 2016

ANALISA PENGARUH VARIASI ARUS DAN BENTUK KAMPUH PADA PENGELASAN SMAW TERHADAP KEKUATAN *IMPACT* SAMBUNGAN *BUTT JOINT* PADA PLAT BAJA A36

Nama Mahasiswa : M Syujuan Al Khotasa
NRP : 4312100085
Jurusan : Teknik Kelautan FTK- ITS
Dosen Pembimbing : 1. Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
2. Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST.,MT., Ph.D

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh serta mengetahui kondisi optimal pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan *impact* sambungan *butt joint* pada plat baja A36. Penelitian ini menggunakan Baja A36 dengan variasi arus 70 A, 90 A, 110 A, dan 130 A serta variasi bentuk kampuh yaitu U dan V dengan menggunakan las SMAW dan memakai elektroda E7018 diameter 3,2 mm. Spesimen dilakukan pengujian *Impact* dan foto struktur mikro. Pengaruh kuat arus terhadap nilai *impact* pada kampuh U, untuk kuat arus 70 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,480 J/mm². Untuk kuat arus 90 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 0,974 J/mm². Untuk kuat arus 110 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,342 J/mm². Untuk kuat arus 130 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 0,779 J/mm². Sedangkan pengaruh kuat arus terhadap nilai *impact* pada kampuh V, untuk kuat arus 70 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 0,780 J/mm². Untuk kuat arus 90 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,23 J/mm². Untuk kuat arus 110 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,274 J/mm². Untuk kuat arus 130 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,131 J/mm². Kekuatan *impact* sambungan las yang paling optimal adalah arus 70 A pada bentuk kampuh U hal ini dikarenakan struktur mikro ferit lebih rapat (halus), sehingga menahan rambatan retak yang terjadi. Pada bentuk kampuh V didapatkan Semakin tinggi kuat arus yang digunakan, maka kekuatan *impact*-nya akan semakin tinggi hingga mencapai titik maksimum lalu kembali mengalami penurunan, sedangkan pada bentuk kampuh U didapatkan semakin tinggi kuat arus yang digunakan, maka kekuatan *impact*-nya akan semakin rendah.

Kata Kunci: SMAW, Arus, Bentuk Kampuh Las, Kekuatan *Impact*.

ANALYSIS THE EFFECT OF CURRENT VARIATION AND GROOVE VARIATION IN SMAW CONCERNING TO THE IMPACT STRENGTH OF BUTT JOINT CONNECTION ON THE A36 STEEL PLATE

Name : M Syujuan Al Khotasa
NRP : 4312100085
Departement : Teknik Kelautan FTK- ITS
Supervisors : 1.Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D
2.Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST.,MT., Ph.D

Abstract

This study aims to determine the effect of variations in current and the variations in groove as well as to determine the optimal conditions from the effect of variations in flow and groove of the SMAW welding type. This study was done by concerning to the impact strength of butt joint connection in steel plate A36. This study uses a variation of the current Steel A36 with 70 A, 90 A, 110 A and 130 A as well as the variation in groove U and V by using SMAW welding electrode E7018 and diameter size of 3.2 mm. Specimens used for Impact testing and photographs of the microstructure. The effect of the current concerning to the impact value on the U groove, for currents of 70 A is obtained impact values by an average of 1.480 J / mm². Currents to 90 A get the impact value by an average of 0,974 J /mm². Currents to 110 A get the impact value by an average of 1.342 J / mm². Currents to 130 A at get the impact value by an average of 0.779 J / mm². While a strong influence on the value of the current impact on the groove V, current 70 A to impact value obtained an average of 0.780 J /mm². Currents to 90 A get an average impact value of 1.23 J / mm². Currents to 110 A get the impact value by an average of 1,274 J /mm². Currents to 130 A get the impact value by an average of 1.131 J /mm². Impact strength of welded joints is the most optimal flow of 70 A at the U shape because this is more dense ferrite microstructure (fine), so it resist to the propagation of cracks occurring. In the form V can be obtained that higher currents are used, the strength of its impact will be more high until it reaches a maximum point and then it will be decrease, while in the U-shape can be obtained that higher current be applied, the strength of its impact will be more low.

Keywords: SMAW, Current, Groove Shape, Impact Strength.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Segala puji dan syukur kehadiran Allah SWT, karena atas berkat, rahmat, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini secara baik dan lancar. Kerja praktek ini merupakan salah satu mata kuliah wajib di jurusan Teknik Kelautan. Judul yang dibuat penulis pada Tugas Akhir ini adalah “ **Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Las pada Pengelasan SMAW terhadap Kekuatan *Impact* Sambungan *Butt Joint* Pada Plat Baja A36**”.

Tugas Akhir ini dibuat guna memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya (ITS). Tujuan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh serta mengetahui kondisi optimal pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan *impact* sambungan *butt joint* pada plat baja A36.

Dalam pembuatan Tugas Akhir ini, penulis telah berusaha semaksimal mungkin untuk melakukan yang terbaik. Namun penulis juga menyadari bahwa pada Tugas Akhir ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna kesempurnaan Tugas Akhir ini. Semoga hasil yang di capai penulis dapat berguna bagi penulis sendiri dan untuk pembaca pada umumnya.

Surabaya, Januari 2016

M Syuajuan Al Khotasa

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan rasa syukur dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas bimbingan dan bantuan baik berupa materi maupun do'a baik secara langsung maupun tidak langsung kepada:

1. Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Kedua orangtua penulis tercinta, Bapak H. Imbalo, S.H., M.H. dan Ibu Hj. Rahimah, yang telah memberikan dukungan moral maupun moril kepada penulis yang tiada hentinya agar diberi kemudahan dalam menyelesaikan Tugas akhir ini.
3. Bapak Herman Pratikno, S.T., MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing satu penulis dan Bapak Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST.,MT., Ph.D., selaku dosen pembimbing dua penulis yang telah sabar membimbing, memberikan petunjuk, dan meluangkan waktunya sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai.
4. Bapak Drs. Mahmud Musta'in, M.Sc, Ph.D selaku dosen wali penulis, terima kasih atas bimbingan, nasehat, dan bimbingannya.
5. Keluarga besar saudaraku Varuna L30-P52 angkatan 2012, terima kasih telah mengisi masa-masa perkuliahan ini dalam suka maupun duka.
6. Bapak Rudi Walujo selaku kajar Teknik Kelautan, semua bapak dan ibu dosen serta staf maupun karyawan Jurusan Teknik Kelautan, terima kasih atas segala ilmu dan bantuannya.
7. Teknisi laboratorium Kontruksi Kapal, terima kasih atas segala ilmu dan bantuannya.
8. Teman-teman Kontrakan yang selalu memberikan semangat dan doanya.
9. Semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung.

Daftar Isi

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Tinjauan Pustaka	4
2.2 Dasar Teori	4
2.2.1 Proses Pengelasan.....	4
2.2.2 Plat Baja	5
2.2.3 Plat ASTM A36 dan Komposisi Kimia.....	6
2.2.4 Pengujian <i>Impact</i>	7
2.2.5 Pengelasan SMAW.....	11
2.2.6 Kampuh Las	13
2.2.7 Sel Elektroda.....	14
2.2.8 Besar Arus Listrik	16
2.2.9 Struktur Mikro Daerah Las-lasan	17
2.2.9.1 Daerah Logam Las.....	17
2.2.9.2 Daerah pengaruh panas atau heat affected zone (HAZ).....	19
2.2.9.3 Logam Induk.....	20
2.2.10 Diagram CCT (<i>continuous cooling transformation</i>).....	20

2.2.11 Heat Input	21
2.2.12 Foto Struktur Mikro.....	22
2.2.13 Pengujian <i>Non-Destructive Test Radiography</i>	23
2.2.14 Pengujian Metalografi.....	24
2.2.15 Pengujian Kekerasan Vickers.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	26
3.1 Metodologi Penelitian.....	26
3.1 Prosedur Penelitian.....	27
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1 Hasil Foto Struktur Mikro.....	39
4.1.1 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 70 A kampuh U.....	39
4.1.2 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 90 A kampuh U.....	39
4.1.3 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 110 A kampuh U.....	40
4.1.4 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 130 A kampuh U.....	40
4.1.5 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 70 A kampuh V.....	41
4.1.6 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 90 A kampuh V.....	41
4.1.7 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 110 A kampuh V.....	42
4.1.8 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 130 A kampuh V.....	42
4.2 Hasil Uji <i>Impact</i>	43
4.3 Hasil Uji <i>Impact</i>	48
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	50
5.1 Kesimpulan	50
5.2 Saran	50
Daftar Pustaka.....	51
Lampiran	
Biodata Penulis	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat Pengujian <i>Impact</i>	10
Gambar 2.2 Elektroda Terbungkus.....	16
Gambar 2.3 Arah Pembekuan dari Logam Las.....	17
Gambar 2.4 Struktur mikro <i>acicular ferrite</i> (AF) atau <i>ferit</i> batas butir.....	18
Gambar 2.5 Struktur mikro <i>ferit Widmanstätten</i>	19
Gambar 2.6 Struktur mikro <i>martensit</i>	19
Gambar 2.7 Struktur mikro <i>ferit</i> dan <i>perlit</i>	19
Gambar 2.8 Struktur mikro <i>bainit</i>	19
Gambar 2.9 Struktur mikro daerah <i>columnar</i>	19
Gambar 2.10 Diagram CCT untuk baja.....	20
Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan Tugas Akhir.....	26
Gambar 3.2 Bentuk Kampuh V.....	28
Gambar 3.3 Bentuk Kampuh U.....	30
Gambar 3.4 Hasil Pengelasan Pada Kampuh V dan U.....	32
Gambar 3.5 Spesimen untuk Uji Impact.....	33
Gambar 3.6 Spesimen untuk Foto Struktur Mikro.....	33
Gambar 3.7 Alat pengujian ketangguhan.....	34
Gambar 3.8 Spesimen yang sudah di poles untuk Foto Struktur Mikro.....	35
Gambar 3.9 Mesin foto struktur mikro.....	36
Gambar 3.10 Mesin pengujian kekerasan mikro <i>Vickers</i>	37
Gambar 4.1 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 70 A kampuh U.....	39
Gambar 4.2 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 90 A kampuh U.....	39
Gambar 4.3 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 110 A kampuh U.....	40
Gambar 4.4 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 130 A kampuh U.....	40
Gambar 4.5 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 70 A kampuh V.....	41
Gambar 4.6 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 90 A kampuh V.....	41
Gambar 4.7 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 110 A kampuh V.....	42
Gambar 4.8 Stuktur Mikro pada <i>Weld Metal</i> Arus 130 A kampuh V.....	42
Gambar 4.9 Diagram Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai <i>Impact</i> pada Kampuh U.....	44
Gambar 4.10 Diagram Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai <i>Impact</i> pada Kampuh V.....	45
Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan pada Kampuh V.....	48
Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan pada Kampuh U.....	49

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Chemical Requirement</i> ASTM A36.....	6
Tabel 2.2 Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak.....	15
Tabel 3.1 Welding Procedure untuk Arus 70A pada Kampuh V.....	28
Tabel 3.2 Welding Procedure untuk Arus 90A pada Kampuh V.....	29
Tabel 3.3 Welding Procedure untuk Arus 110A pada Kampuh V.....	29
Tabel 3.4 Welding Procedure untuk Arus 130A pada Kampuh V.....	29
Tabel 3.5 Welding Procedure untuk Arus 70A pada Kampuh U.....	30
Tabel 3.6 Welding Procedure untuk Arus 90A pada Kampuh U.....	31
Tabel 3.7 Welding Procedure untuk Arus 110A pada Kampuh U.....	31
Tabel 3.8 Welding Procedure untuk Arus 130A pada Kampuh U.....	31
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Ketangguhan Impak pada Kampuh U.....	43
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Ketangguhan Impak pada Kampuh V.....	44
Tabel 4.3 Hasil <i>Heat Input</i>	46
Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan dalam satuan HVN atau kg/mm ²	48

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Sekarang ini kebutuhan akan material terutama logam sangatlah penting. Besi dan baja merupakan salah satu kebutuhan yang mendasar untuk suatu konstruksi. Dengan berbagai macam kebutuhan sifat mekanik yang dibutuhkan oleh suatu material ialah berbeda-beda. Sifat mekanik tersebut terutama meliputi kekerasan, keuletan, kekuatan, ketangguhan, serta sifat mampu mesin yang baik. Dengan sifat pada masing-masing material berbeda, maka banyak metode untuk menguji sifat apa sajakah yang dimiliki oleh suatu material tersebut. Uji impak merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mengetahui kekuatan, kekerasan, serta keuletan material. Oleh karena itu uji impak banyak dipakai dalam bidang menguji sifat mekanik yang dimiliki oleh suatu material tersebut.

Susandi (2015) dalam tugas akhirnya telah menganalisa Variasi arus terhadap kekuatan *impact* pada material stainless steel A304. Melalui tugas akhir ini akan dilakukan penelitian lebih lanjut tentang analisa pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh terhadap kekuatan *impact* pada material baja A36.

Pengelasan merupakan proses penyambungan antara dua bagian logam atau lebih dengan menggunakan energi panas. Karena proses ini maka di daerah sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi, dan tegangan-tegangan termal (Zamrhoni 2011). Sebagai teknik penyambungan logam pengelasan pada dasarnya merupakan ikatan metalurgi pada sambungan antar logam paduan yang dilaksanakan pada keadaan lumer atau cair maka teknik pengelasan mempunyai keistimewaan dan keunggulan dibandingkan dengan sistem penyambungan logam yang lain seperti *keeling* (Okumura dan Wiryasumarto 1996).

Salah satu jenis las yang sering digunakan adalah pengelasan SMAW (*shielded metal arc welding*). Dalam pengelasan ini, logam induk mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik yang ada dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang dipakai berupa kawat yang dibungkus oleh pelindung berupa fluks dan karena itu elektroda las kadang-kadang disebut kawat las. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama-sama dengan logam induk yang menjadi bagian kampuh las. Dengan adanya pencairan ini maka kampuh las akan terisi oleh logam cair yang berasal dari elektroda dan logam induk (Katsas 2005).

Untuk menghasilkan kualitas sambungan las yang baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan yaitu kampuh las. Kampuh las ini berguna untuk menampung bahan pengisi agar lebih banyak yang merekat pada benda kerja. Dengan demikian kekuatan las akan

terjamin. Sebelum memulai proses pengelasan terlebih dahulu ditentukan jenis sambungan las yang akan dipilih. Hal-hal yang harus diperhatikan bahwa sambungan yang dibuat akan mampu meneri beban (beban statis, beban dinamis, atau keduanya).

Uji impak adalah pengujian dengan menggunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Agar dapat memahami uji impak terlebih dahulu mengamati fenomena yang terjadi terhadap suatu kapal yang berada pada suhu rendah ditengah laut, sehingga menyebabkan materialnya menjadi getas dan mudah patah. Disebabkan laut memiliki banyak beban (tekanan) dari arah manapun. Kemudian kapal tersebut menabrak gunung es, sehingga tegangan yang telah terkonsentrasi disebabkan pembebanan sebelum sehingga menyebabkan kapal tersebut terbelah dua. Dalam Pengujian Mekanik, terdapat perbedaan dalam pemberian jenis beban kepada material. Uji tarik, uji tekan, dan uji punter adalah pengujian yang menggunakan beban statik. Sedangkan uji impak (*fatigue*) menggunakan jenis beban dinamik. Pada uji impak, digunakan pembebanan yang cepat (*rapid loading*). Perbedaan dari pembebanan jenis ini dapat dilihat pada *strain rate*. Pada pembebanan cepat atau disebut dengan beban impak, terjadi proses penyerapan energi yang besar dari energi kinetik suatu beban yang menumbuk ke spesimen. Proses penyerapan energi ini, akan diubah dalam berbagai respon material seperti deformasi plastis, efek histerisis, gesekan, dan efek inersia.

1.2. Perumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh V pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja A36 ?
2. Bagaimana pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh U pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja A36 ?
3. Bagaimana kondisi optimal pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja A36 ?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh V pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja A36.
2. Mengetahui pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh U pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja A36.
3. Mengetahui kondisi optimal pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan impact sambungan butt joint pada plat baja A36.

1.4. Manfaat

Manfaat dilakukan eksperimen ini adalah untuk memberikan informasi tentang pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh terhadap SMAW, memberikan masukan sebagai bahan pertimbangan penentuan arus pengelasan yang baik dan juga penentuan kampuh las yang cocok untuk diterapkan pada pengelasan SMAW ditinjau dari hasil pengujian impact serta memberikan informasi mengenai katangguhan material apabila terkena beban yang disebabkan oleh benturan secara tiba-tiba.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Jenis material yang digunakan adalah plat baja A36.
2. Proses pengelasan menggunakan SMAW (*Shielded Metal Arc Welding*).
3. Bentuk lasan adalah *butt joint* dengan posisi pengelasan dasar (*flat*).
4. Pengelasan dilakukan tanpa adanya *pre heating* dan *post heating*.
5. Arus yang digunakan adalah 70 A, 90 A, 110 A, 130 A .
6. Bentuk kampuh yang digunakan adalah bentuk V tunggal dan U tunggal.
7. Temperatur ruangan diabaikan.
8. Pengelasan dilakukan di laboratorium PPNS ITS.
9. Dilakukan Pengujian *Impact* dan Struktur Mikro.
10. Pengelasan dilakukan berdasar WPS (*Welding Procedure Specification*) dan WQR (*Welding Procedure Qualification*).

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Pustaka

Pengembangan teknologi di bidang konstruksi yang semakin maju tidak dapat dipisahkan dari pengelasan karena mempunyai peran penting dalam rekayasa dan reparasi logam. Pembangunan konstruksi dengan logam pada masa sekarang ini banyak melibatkan pengelasan khususnya bidang rancang bangun karena sambungan las merupakan salah satu pembuatan sambungan yang secara teknis memerlukan keterampilan yang tinggi bagi pengelasannya agar diperoleh sambungan dengan kualitas baik. Lingkup penggunaan teknik pengelasan dalam konstruksi sangat luas meliputi perkapalan, jembatan, rangka baja, bejana tekan, sarana transportasi, rel, pipa saluran, dan lain-lain.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan meliputi pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, penggunaan jenis kampuh dan lain-lain.

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukar menyala busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil, sebaliknya bila arus terlalu besar akan menyebabkan masukan panas yang tinggi dimana hal ini dapat menimbulkan distorsi yang lebih besar.

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Proses Pengelasan (*Welding Process*)

Pada bidang industri maritim, pengelasan adalah salah satu bagian yang sangat penting. Salah satu contoh pada galangan kapal untuk sambungan pada pelat dibuat dengan proses pengelasan. Pengelasan adalah ikatan metalurgi pada sambungan logam atau logam panduan yang dilakukan pada keadaan lumer atau cair. Dari deformasi diatas dapat dijabarkan bahwa las adalah sambungan setempat dari beberapa batang logam dengan menggunakan energi panas.

Sistem penyambungan las ini dapat menghasilkan efisiensi sambungan dan tingkat kerapatan yang tinggi, dengan biaya fabrikasi yang kecil. Meskipun demikian, akibat pengelasan akan terjadi tegangan sisa yang timbul karena pemanasan lokal dalam proses pengelasan dan pendinginan yang cepat. Tegangan sisa yang terjadi pada kampuh las ini dapat menyebabkan getas material, kegagalan fatik atau SCC (Stress Corrosion crack)

dan dapat mengurangi kekuatan dari struktur dan komponen. Oleh karena itu tegangan sisa dalam pengelasan harus dihilangkan sampai sekecil mungkin untuk mengurangi kegagalan desain suatu komponen.

Dalam proses pengelasan, bagian dilas menerima panas pengelasan setempat sehingga distribusi temperature tidak merata. Distribusi panas yang tidak merata ini mengakibatkan temperatur logam las hingga daerah temperature panas (HAZ) lebih tinggi disbanding dengan base metal. Pada saat logam las membeku, penyusutan terjadi dan logam melakukan gaya penyusutan terhadap daerah sekelilingnya dan daerah HAZ. Tegangan penyusutan yang tertinggal dalam logam lasan ini menyebabkan tegangan sisa. Tegangan sisa menyebabkan dua efek berbahaya, yaitu distorsi dan kerusakan dini dari lasan.

2.2.2 Plat Baja

Secara umum baja merupakan material yang tersusun oleh bahan-bahan kimia seperti *carbon* (C), besi (Fe), dan unsur lainnya. Paduan logam-logam material pembentuk baja berkembang seiring waktu dan teknologi yang berkembang juga. Industri kelautan pun mengembangkan paduan material yang menciptakan jenis baja yang sesuai dengan industrinya. Secara umum baja terklasifikasi menjadi beberapa bagian, yaitu :

- a. Baja menurut kekuatannya
- b. Baja menurut struktur mikroskopiknya
- c. Baja menurut penggunaannya
- d. Baja menurut komposisinya

Menurut komposisi kimianya, baja dibagi menjadi menjadi dua, yaitu baja karbon (baja tanpa paduan) dan baja tanpa paduan. Baja karbon mempunyai campuran karbon yang lebih dominan, dan memiliki campuran lainnya yang lebih kecil jumlahnya. Baja karbon dibagi menjadi tiga jenis, yaitu :

- Baja karbon rendah (*Mild Steel/Low Carbon Steel*) : mempunyai campuran karbon maksimal 0,30% dari paduannya. Strukturnya terdiri dari ferrit dan sedikit perlit sehingga kekuatan baja ini relatif rendah, lunak tetapi keuletannya tinggi, mudah di-bending dan di-machining (Zakharov, 1962).
- Baja karbon menengah (*Medium Carbon Steel*) : mempunyai kandungan karbon berkisar antara 0,30% - 0,70%. Baja karbon menengah mempunyai kandungan perlit yang cukup banyak, sehingga baja tersebut mempunyai sifat lebih kuat dan keras.
- Baja karbon tinggi (*High Carbon Steel*) : mempunyai kandungan karbon diatas 70%. Mempunyai sifat lebih kuat dan lebih keras, namun menjadi lebih getas.

2.2.3 Plat ASTM A36 dan Komposisi Kimia

Untuk penelitian ini baja yang digunakan adalah plat ASTM A36. Plat ASTM A36 termasuk dalam golongan baja karbon rendah. Plat ASTM A36 didalam industri kelautan digunakan untuk struktur deck platform. Untuk pipa,ASTM A36 sering dipakai untuk pembuatan pipa transmisi minyak dan gas tekanan rendah.. Plat baja ASTM A36 mempunyai komposisi material,dan *mechanic property* yang ditunjukkan pada tabel dibawah berikut

Tabel 2.1 Chemical Requirement ASTM A36
(Sumber ASTM A36 – 04)

Product	Shapes ^A	Plates ^B				
Thickness, in [mm]	All	To ³ / ₄ [20] Inch	Over ³ / ₄ To 1 ¹ / ₂ [20 to 40] inch	Over 1 ¹ / ₂ To 2 ¹ / ₂ [40 to 65] inch	Over 2 ¹ / ₂ To 4 [65 to 100] Inch	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.25	0.25	0.26	0.27	0.29
Manganese, %	....	....	0.8-1.20	0.8-1.20	0.85-1.20	0.85-1.20
Phosporus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40	0.15-0.40
Cooper, min, % when copper steel is specifield	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2

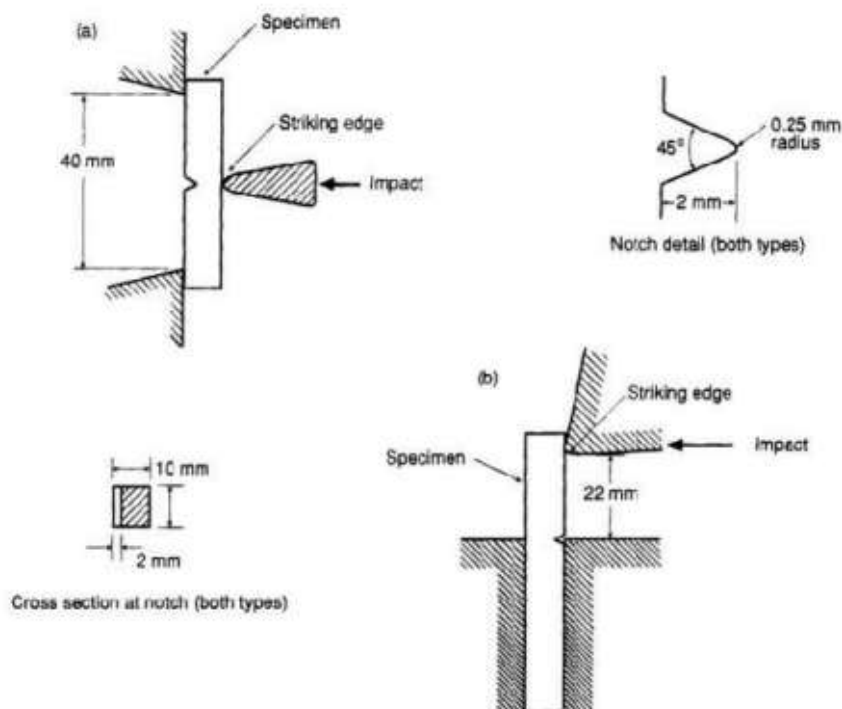
Product	Shapes ^A	Bars ^B			
Thickness, in [mm]	All	To $\frac{3}{4}$ [20] incl	Over $\frac{3}{4}$ To $1\frac{1}{2}$ [20 to 40] Incl	Over $1\frac{1}{2}$ To 4 [100] incl	Over 4 [100]
Carbon, max, %	0.26	0.26	0.27	0.28	0.29
Manganese, %	....	....	0.06-0.90	0.06-0.90	0.06-0.90
Phosphorus, max, %	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Sulfur, max, %	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Silicon, %	0.40 max	0.40 max	0.40 max	0.15-0.40	0.15-0.40
Cooper, min, % when copper steel is	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Specified					

2.2.4 Pengujian Impact

Ketangguhan adalah tahanan bahan terhadap beban tumbukan atau kejutan (takikan yang tajam secara drastis menurunkan ketangguhan). Tujuan utama dari pengujian impak adalah untuk mengukur kegetasan atau keuletan bahan terhadap beban tiba-tiba dengan cara mengukur energi potensial sebuah palu godam yang dijatuhkan pada ketinggian tertentu. Pengujian impak adalah pengujian dengan menggunakan beban sentakan (tiba-tiba). Metode yang sering digunakan adalah metode Charpy dengan menggunakan benda uji standar.

Mesin uji bentur (impact) yang digunakan untuk mengetahui harga impak suatu bahan yang diakibatkan oleh gaya kejut pada bahan uji tersebut. Tipe dan bentuk konstruksi mesin uji bentur beraneka ragam mulai dari jenis konvensional sampai dengan sistem digital yang lebih maju. Dalam pembebanan statis dapat juga terjadi laju deformasi yang tinggi kalau bahan diberi takikan, maka tajam takikan makin besar deformasi yang terkonsentrasikan pada takikan, yang memungkinkan meningkatkan laju regangan beberapa kali lipat. Patah getas menjadi permasalahan penting pada baja dan besi. Pengujian impact charpy banyak dipergunakan untuk menentukan kualitas bahan. Benda uji takikan berbentuk V yang mempunyai keadaan takikan 2 mm banyak dipakai. Permukaan benda uji pada impact charpy dikerjakan halus pada semua permukaan.

Takikan dibuat dengan mesin freis atau alat notch khusus takik. Semua dikerjakan menurut standar yang ditetapkan. Pada pengujian adalah suatu bahan uji yang ditakikan, dipukul oleh pendulum (bandul) yang mengayun. Dengan pengujian ini dapat diketahui sifat kegetasan suatu bahan. Berikut ini merupakan salah satu mesin uji impak. Cara ini dapat dilakukan dengan cara charpy. Pada pengujian kegetasan bahan dengan cara impact charpy, pendulum diarahkan pada bagian belakang takik dari batang uji. Sedangkan pada pengujian impact cara izod adalah pukulan pukulan pendulum diarahkan pada jarak 22 mm dari penjepit dan takikannya menghadap pendulum.



Perbedaan Charpy dengan Izod adalah peletakan spesimen. Pengujian dengan menggunakan Charpy lebih akurat karena pada Izod, pemegang spesimen juga turut menyerap energi, sehingga energi yang terukur bukanlah energi yang mampu di serap material seutuhnya.

Pada pengujian pukul takik (impact test) digunakan batang uji yang bertakik (notch). Pada metode Charpy, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan kearah mendatar oleh penahan yang berjarak 55 mm. Bandul akan berayun memukul batang uji tepat dibelakang takikan. Untuk pengujian ini akan digunakan sebuah mesin dimana sebuah batang dapat berayun dengan bebas. Pada ujung batang dipasang pemukul yang diberi pemberat. Batang uji diletakkan di bagian bawah mesin dan takikan tepat pada bidang lintasan pemukul.

Faktor yang mempengaruhi kegagalan material pada pengujian impak adalah:

1. Notch

Notch pada material akan menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan pada daerah yang lancip sehingga material lebih mudah patah. Selain itu notch juga akan menimbulkan triaxial stress. Triaxial stress ini sangat berbahaya karena tidak akan terjadi deformasi plastis dan menyebabkan material menjadi getas. Sehingga tidak ada tanda-tanda bahwa material akan mengalami kegagalan.

2. Temperatur

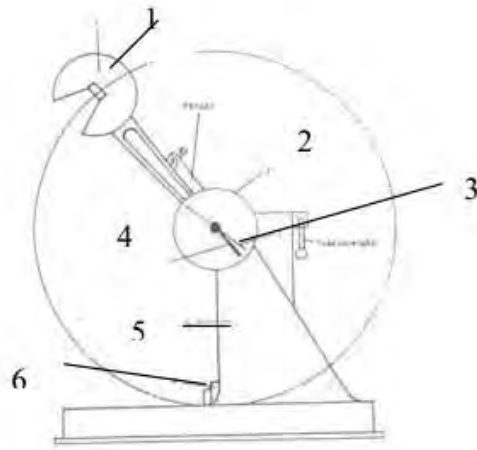
Pada temperatur tinggi material akan getas karena pengaruh vibrasi elektronnya yang semakin rendah, begitupun sebaliknya.

3. Strainrate

Jika pembebanan diberikan pada strain rate yang biasa-biasa saja, maka material akan sempat mengalami deformasi plastis, karena pergerakan atomnya (dislokasi). Dislokasi akan bergerak menuju ke batas butir lalu kemudian patah. Namun pada uji impak, strain rate yang diberikan sangat tinggi sehingga dislokasi tidak sempat bergerak, apalagi terjadi deformasi plastis, sehingga material akan mengalami patah transgranular, patahnya ditengah-tengah atom.

Pada baja dan aluminium terdapat perbedaan harga impak. Harga impak baja lebih tinggi daripada aluminium menunjukkan bahwa ketangguhan baja lebih tinggi jika dibandingkan dengan aluminium. Ketangguhan adalah kemampuan material untuk menyerap energi dan berdeformasi plastis hingga patah.

Selain suhu, hal lain yang mempengaruhi harga impak suatu material adalah kadar karbonnya. Material yang memiliki kadar karbon yang tinggi akan lebih getas. Hal ini akan mempengaruhi harga impaknya dan temperature transisi. Material yang memiliki kadar karbon tinggi akan memiliki temperature transisi yang lebih panjang jika dibandingkan dengan material yang memiliki kadar karbon rendah. Temperatur transisi yang berbeda-beda ini akan mempengaruhi ketahanan material terhadap perubahan suhu. Material yang memiliki temperature transisi rendah maka material tersebut tidak akan tahan terhadap perubahan suhu. Pada pembebanan impak ini, terjadi proses penyerapan energy yang besar.



Gambar 2.1 Alat Pengujian *Impact*

Keterangan :

1. Pendulum
2. Piring busur derajat
3. Jarum penunjuk sudut
4. Batang pembawa jarum
5. Badan mesin uji
6. Tempat benda uji dipasang

Kerja yang dilakukan untuk mematahkan benda kerja adalah $W = G \cdot L(\cos \beta - \cos \alpha)$

Dimana

W = kerja patah dalam Joule

G = beban yang digunakan dalam kg

L = panjang lengan ayun dalam m

β = sudut jatuh dalam derajat

α = sudut awal dalam derajat

Bila diketahui luas penampang di bawah takikan (A).... mm², dapat disimpulkan perolehan nilai ketangguhan batang uji dihitung sebagai berikut:

$$\text{Nilai Ketangguhan} = \frac{\text{Kerja Patah (W)}}{\text{Luas Penampang di bawah takikan (A)}} \text{ Joule / mm}^2$$

Pada spesimen yang telah dilakukan pengujian impact, akan dapat diketahui jenis patahan yang dihasilkan. Adapun jenis-jenis patahan tersebut antara lain:

1. Patahan Getas

Ciri-ciri patahan getas adalah memiliki permukaan rata dan mengkilap, apabila potongan ini disambung kembali maka kedua potongan ini akan menyambung dengan baik dan rapat. Hal ini disebabkan pada saat proses patahnya, spesimen tidak mengalami deformasi. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impact yang rendah.

2. Patahan Liat

Ciri-ciri permukaan patahan jenis ini tidak rata dan tampak seperti beludru, buram dan berserat. Jika potongan disambungkan kembali maka sambungan tidak akan rapat. Bahan yang memiliki jenis patahan ini mempunyai kekuatan impact yang tinggi, karena sebelum patah bahan mengalami deformasi terlebih dahulu.

3. Patahan Campuran

Ciri-cirinya patahan jenis ini adalah permukaan patahan sebagian terdiri dari patahan getas dan sebagian yang lain adalah patahan liat.

2.2.5 Pengelasan SMAW

SMAW (*Shield Metal Arc Welding*) yang juga disebut Las Busur Listrik adalah proses pengelasan yang menggunakan panas untuk mencairkan material dasar atau logam induk dan elektroda (bahan pengisi). Panas tersebut dihasilkan oleh lonjakan ion listrik yang terjadi antara katoda dan anoda (ujung elektroda dan permukaan plat yang akan dilas).

Proses terjadinya pengelasan ini karena adanya kontak antara ujung elektroda dan material dasar sehingga terjadi hubungan pendek, saat terjadi hubungan pendek tersebut tukang las (*welder*) harus menarik elektroda sehingga terbentuk busur listrik yaitu lonjakan ion yang menimbulkan panas.

Pengelasan SMAW merupakan teknik pengelasan dengan memanfaatkan panas busur listrik yang timbul karena perbedaan tegangan antara elektroda terbungkus dengan material yang akan disambung. Gas pelindung timbul dari lapisan pembungkus elektroda yang terurai. Material pengisi berasal dari kawat elektroda dan pembungkusnya yang terdiri dari berbagai campuran serbuk halus.. Gambar skema peralatan las SMAW dapat dilihat pada Gambar 2.2. (*Okumura, 1994*)

Logam induk dalam pengelasan ini mengalami pencairan akibat pemanasan dari busur listrik yang timbul antara ujung elektroda dan permukaan benda kerja. Busur listrik dibangkitkan dari suatu mesin las. Elektroda yang digunakan berupa kawat yang

dibungkus pelindung berupa fluks. Elektroda ini selama pengelasan akan mengalami pencairan bersama dengan logam induk dan membeku bersama menjadi bagian kampuh las.

Proses pemindahan logam elektroda terjadi pada saat ujung elektroda mencair dan membentuk butir-butir yang terbawa arus busur listrik yang terjadi. Bila digunakan arus listrik besar maka butiran logam cair yang terbawa menjadi halus dan sebaliknya bila arus kecil maka butirannya menjadi besar.

Pola pemindahan logam cair sangat mempengaruhi sifat mampu las dari logam. Logam mempunyai sifat mampu las yang tinggi bila pemindahan terjadi dengan butiran yang halus. Pola pemindahan cairan dipengaruhi oleh besar kecilnya arus dan komposisi dari bahan fluks yang digunakan. Bahan fluks yang digunakan untuk membungkus elektroda selama pengelasan mencair dan membentuk terak yang menutupi logam cair yang terkumpul di tempat sambungan dan bekerja sebagai penghalang oksidasi.

Faktor yang mempengaruhi las adalah prosedur pengelasan yaitu suatu perencanaan untuk pelaksanaan penelitian yang meliputi cara pembuatan konstruksi las yang sesuai rencana dan spesifikasi dengan menentukan semua hal yang diperlukan dalam pelaksanaan tersebut. Faktor produksi pengelasan adalah jadwal pembuatan, proses pembuatan, alat dan bahan yang diperlukan, urutan pelaksanaan, persiapan pengelasan. Meliputi : pemilihan mesin las, penunjukan juru las, pemilihan elektroda, dan pemilihan kampuh las.

Pengelasan berdasarkan klasifikasi cara kerja dapat dibagi dalam tiga kelompok yaitu pengelasan cair, pengelasan tekan dan pematrian. Pengelasan cair adalah suatu cara pengelasan dimana benda yang akan disambung dipanaskan sampai mencair dengan sumber energi panas.

Cara pengelasan yang paling banyak digunakan adalah pengelasan cair dengan busur (las busur listrik) dan gas. Jenis dari las busur listrik ada 4 yaitu las busur dengan elektroda terbungkus, las busur gas (TIG, MIG, las busur CO₂), las busur tanpa gas, las busur rendam. Jenis dari las busur elektroda terbungkus salah satunya adalah las SMAW.

Mesin las SMAW menurut arusnya dibedakan menjadi tiga macam yaitu mesin las arus searah atau *Direct Current* (DC), mesin las arus bolak-balik atau *Alternating Current* (AC) dan mesin las arus ganda yang merupakan mesin las yang dapat digunakan untuk pengelasan dengan arus searah (DC) dan pengelasan dengan arus bolak-balik (AC), mesin Las arus DC dapat digunakan dengan dua cara yaitu polaritas lurus dan polaritas terbalik. Mesin las DC polaritas lurus (DC-) digunakan bila titik cair bahan induk tinggi dan kapasitas besar, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub negatif dan logam induk dihubungkan dengan kutub positif, sedangkan untuk mesin las DC polaritas terbalik (DC+) digunakan bila titik cair bahan induk rendah dan kapasitas kecil, untuk pemegang elektrodanya dihubungkan dengan kutub positif dan logam induk dihubungkan dengan kutub negatif.

Pilihan ketika menggunakan DC polaritas negatif atau positif adalah terutama ditentukan elektroda yang digunakan. Beberapa elektroda SMAW didisain untuk digunakan hanya DC- atau DC+. Elektroda lain dapat menggunakan keduanya DC- dan DC+. Elektroda E7018 dapat digunakan pada DC polaritas terbalik (DC+). Pengelasan ini menggunakan elektroda E7018 dengan diameter 3,2 mm maka arus yang digunakan berkisar antara 80-120 Amper (Soetardjo, 1997).

Tidak semua logam memiliki sifat mampu las yang baik. Bahan yang mempunyai sifat mampu las yang baik diantaranya adalah baja paduan rendah. Baja ini dapat dilas dengan las busur elektroda terbungkus, las busur rendam dan las MIG (las logam gas mulia). Baja paduan rendah biasa digunakan untuk pelat-pelat tipis dan konstruksi umum (Wirjosumarto, 2000).

Penyetelan kuat arus pengelasan akan mempengaruhi hasil las. Bila arus yang digunakan terlalu rendah akan menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik. Busur listrik yang terjadi menjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan elektroda dan bahan dasar sehingga hasilnya merupakan rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Sebaliknya bila arus terlalu tinggi maka elektroda akan mencair terlalu cepat dan akan menghasilkan permukaan las yang lebih lebar dan penembusan yang dalam sehingga menghasilkan kekuatan tarik yang rendah dan menambah kerapuhan dari hasil pengelasan (Arifin, 1997).

2.2.6 Kampuh Las

Untuk menghasilkan kualitas sambungan las yang baik, salah satu faktor yang harus diperhatikan yaitu kampuh las. Kampuh las ini berguna untuk menampung bahan pengisi agar lebih banyak yang merekat pada benda kerja, dengan demikian kekuatan las akan terjamin.

Faktor-faktor yang harus diperhatikan dalam pemilihan jenis kampuh adalah:

1. Ketebalan benda kerja.
2. Jenis benda kerja.
3. Kekuatan yang diinginkan.
4. Posisi pengelasan.

Kampuh V digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 6-16 mm, dimana sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup. Kampuh V terbuka digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 6-16 mm dengan sudut kampuh 30°-80° dan jarak/celah kampuh sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan.

Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka.

Sambungan Kampuh U lebih kuat menerima beban statis dan diperlukan untuk sambungan berkualitas tinggi. Dipakai pada ketebalan 8 mm-25 mm.

2.2.7 Sel Elektroda

Pengelasan dengan menggunakan las busur listrik memerlukan kawat las (elektroda) yang terdiri dari satu inti terbuat dari logam yang dilapisi lapisan dari campuran kimia. Fungsi dari elektroda sebagai pembangkit dan sebagai bahan tambah. Elektroda terdiri dari dua bagian yaitu bagian yang berselaput (fluks) dan tidak berselaput yang merupakan pangkal untuk menjepitkan tang las. Fungsi dari fluks adalah untuk melindungi logam cair dari lingkungan udara, menghasilkan gas pelindung, menstabilkan busur.

Bahan fluks yang digunakan untuk jenis E7018 adalah serbuk besi dan hidrogen rendah. Jenis ini kadang disebut jenis kapur. Jenis ini menghasilkan sambungan dengan kadar hidrogen rendah sehingga kepekaan sambungan terhadap retak sangat rendah, ketangguhannya sangat memuaskan.

Hal yang kurang menguntungkan adalah busur listriknya kurang mantap, sehingga butiran yang dihasilkan agak besar dibandingkan jenis lain. Dalam pelaksanaan pengelasan memerlukan juru las yang sudah berpengalaman. Sifat mampu las fluks ini sangat baik maka biasa digunakan untuk konstruksi yang memerlukan tingkat pengaman tinggi.

Spesifikasi elektroda untuk baja karbon berdasarkan jenis dari lapisan elektroda (fluks), jenis listrik yang digunakan, posisi pengelasan dan polaritas pengelasan terdapat tabel 1 dibawah ini:

Tabel 2.2. Spesifikasi Elektroda Terbungkus dari Baja Lunak (Wirjosumarto,2000).

Klasifikasi AWS-ASTM	Jenis Fluks	Posisi* pengelasan	Jenis Listrik	Kekuatan tarik (kg/mm ²)	Kekuatan luluh (kg/mm ²)	Perpanjangan (%)
Kekuatan tarik terendah kelompok E 60 setelah dilaskan adalah 60.000 psi atau 42,2 kg/mm ²						
E6010	Natrium selulosa tinggi	F, V, OH, H	DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6011	Kalium selulosa tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	43,6	35,2	22
E6012	Natrium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas lurus	47,1	38,7	17
E6013	Kalium titania tinggi	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda	47,1	38,7	17
E6020	Oksida besi tinggi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
E6027	Serbuk besi, oksida besi	H-S F	AC atau DC polaritas lurus AC atau DC polaritas ganda	43,6	35,2	25
Kekuatan tarik terendah kelompok E70 setelah dilaskan adalah 70.00 psi atau 49,2 kg/mm ²						
E7014	Serbuk besi, titania	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas ganda			17
E7015	Natrium hidrogen rendah	F, V, OH, H	DC polaritas balik			22
E7016	Kalium hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik			22
E7018	Serbuk besi, hidrogen rendah	F, V, OH, H	AC atau DC polaritas balik	50,6	42,2	22
E7024	Serbuk besi, titania	H-S, F	AC atau DC polaritas ganda			17
E7028	Serbuk besi, hidrogen rendah	H-S, F	AC atau DC polaritas balik			22

Klasifikasi AWS-ASTM	Kekuatan tumbuk terendah	* Arti simbol: F = datar V = vertikal OH = atas kepala H = horizontal H-S = horizontal las sudut
E6010, E6011	2,8 kg-m pada 28,9°C	
E6027, E7015		
E7016, E7018		
E7028	2,8 kg-m pada 17,8°C	
E6012, E6013		
E6020, E7014	tidak disyaratkan	
E7024		

Elektroda yang ada di pasaran biasanya dibungkus dengan campuran bahan-bahan fluks yang tergantung dari penggunaannya. Walaupun jenis elektroda sangat banyak jumlahnya, tetapi secara garis besar dapat digolongkan dalam kelas-kelas berikut yang pembagiannya didasarkan atas fluks yang membungkusnya. [Wirjosumarto, 1994] Jenis-jenis elektroda diklasifikasikan oleh beberapa standar, dan yang digunakan dalam penelitian ini adalah standar AWS A5.1 (*American Welding Society*). Menurut AWS klasifikasi elektroda dengan baja lunak untuk busur las listrik mempunyai kode E XXYZ, dimana :

E : Elektroda busur listrik

XX: Kekuatan tarik

Y : Posisi pengelasan

Z : Jenis arus pengelasan

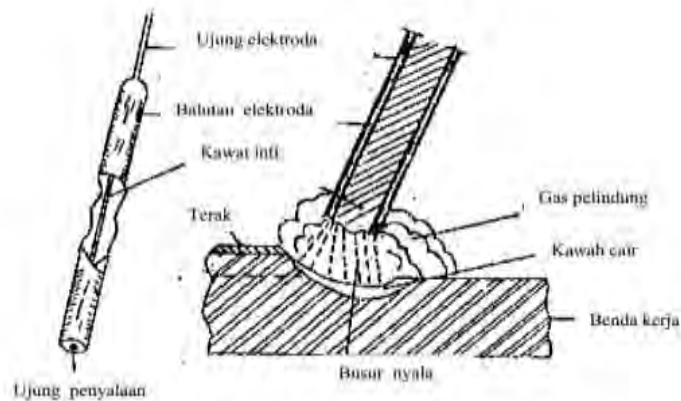
Elektroda adalah bagian ujung (yang berhubungan dengan benda kerja) rangkaian penghantar arus listrik sebagai sumber panas (Alip,1989). E7018 adalah suatu jenis elektroda yang mempunyai spesifikasi tertentu. Dalam penelitian ini yang dimaksud dengan E7018 menurut Soedjono, (1994) adalah

E : Elektroda las listrik (E7018 diameter 3,2 mm)

70 : Tegangan tarik minimum dari hasil pengelasan (70.000 Psi) atau sama dengan 492 MPa.

1 : Posisi pengelasan (angka 1 berarti dapat dipakai dalam semua posisi pengelasan).

8 : Menunjukkan jenis selaput serbuk besi hidrogen rendah dan interval arus las yang cocok untuk pengelasan.



Gambar 2.2. Elektroda Terbungkus

2.2.8 Besar Arus Listrik

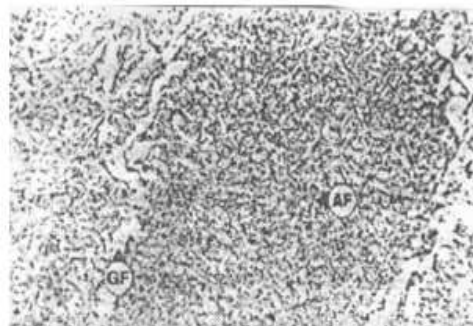
Besarnya arus pengelasan yang diperlukan tergantung pada diameter elektroda, tebal bahan yang dilas, jenis elektroda yang digunakan, geometri sambungan, diameter inti elektroda, posisi pengelasan. Daerah las mempunyai kapasitas panas tinggi maka diperlukan arus yang tinggi.

Arus las merupakan parameter las yang langsung mempengaruhi penembusan dan kecepatan pencairan logam induk. Makin tinggi arus las makin besar penembusan dan kecepatan pencairannya. Besar arus pada pengelasan mempengaruhi hasil las bila arus terlalu rendah maka perpindahan cairan dari ujung elektroda yang digunakan sangat sulit dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang terjadi tidak cukup untuk melelehkan logam dasar, sehingga menghasilkan bentuk rigi-rigi las yang kecil dan tidak rata serta penembusan kurang dalam. Jika arus terlalu besar, maka akan menghasilkan manik melebar, butiran percikan kecil, penetrasi dalam serta penguatan matrik las tinggi.

juga dapat terbentuk, jika ukuran butir austenitnya besar. Waktu pendinginan yang lama akan meningkatkan ukuran batas butir ferit, selain itu waktu pendinginan yang lama akan menyebabkan terbentuk ferit Widmanstatten.

Struktur mikro logam las biasanya kombinasi dari struktur mikro dibawah ini:

- a) Batas butir ferit, terbentuk pertama kali pada transformasi austenit-ferit biasanya terbentuk sepanjang batas austenit pada suhu 1000-650°C.
- b) Ferit Widmanstatten atau ferrite with aligned second phase, struktur mikro ini terbentuk pada suhu 750-650°C di sepanjang batas butir austenit, ukurannya besar dan pertumbuhannya cepat sehingga memenuhi permukaan butirnya.
- c) Ferit acicular, berbentuk intragranular dengan ukuran yang kecil dan mempunyai orientasi arah yang acak. Biasanya ferit acicular ini terbentuk sekitar suhu 650°C dan mempunyai ketangguhan paling tinggi dibandingkan struktur mikro yang lain.
- d) Bainit, merupakan ferit yang tumbuh dari batas butir austenit dan terbentuk pada suhu 400-500°C. Bainit mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan ferit, tetapi lebih rendah dibanding martensit.
- e) Martensit akan terbentuk, jika proses pengelasan dengan pendinginan sangat cepat, struktur ini mempunyai sifat sangat keras dan getas sehingga ketangguhannya rendah.



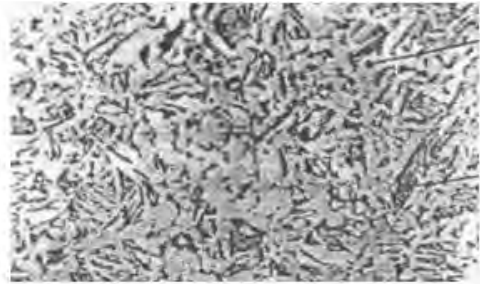
Gambar 2.4. Struktur mikro *acicular ferrite* (AF) atau *ferit* batas butir



Gambar 2-5. Struktur mikro ferit *Widmanstatten* (ASM, 1989)



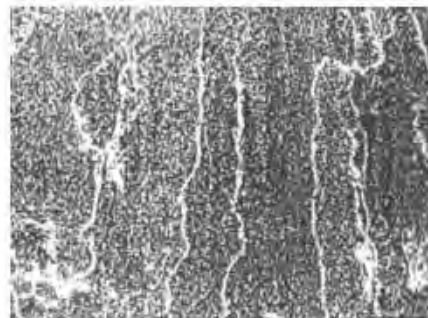
Gambar 2-6. Struktur mikro martensit
(Sonawan, 2004)



Gambar 2-7. Struktur mikro ferit dan
perlit (Sonawan, 2004)



Gambar 2-8. Struktur mikro bainit



Gambar 2-9. Struktur mikro daerah *columnar*

2.2.9.2 Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ)

Daerah pengaruh panas atau *heat affected zone* (HAZ) adalah logam dasar yang bersebelahan dengan logam las yang selama proses pengelasan mengalami siklus termal pemanasan dan pendinginan cepat sehingga daerah ini yang paling kritis dari sambungan las. Secara visual daerah yang dekat dengan garis lebur las maka susunan struktur logamnya semakin kasar.

Pada daerah HAZ terdapat tiga titik yang berbeda, titik 1 dan 2 menunjukkan temperatur pemanasan mencapai daerah berfasa austenit dan ini disebut dengan transformasi menyeluruh yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit kemudian bertransformasi menjadi austenit 100%. Titik 3 menunjukkan temperatur pemanasan, daerah itu mencapai daerah berfasa ferit dan austenit dan ini yang disebut

transformasi sebagian yang artinya struktur mikro baja mula-mula ferit+perlit berubah menjadi ferit dan austenit.

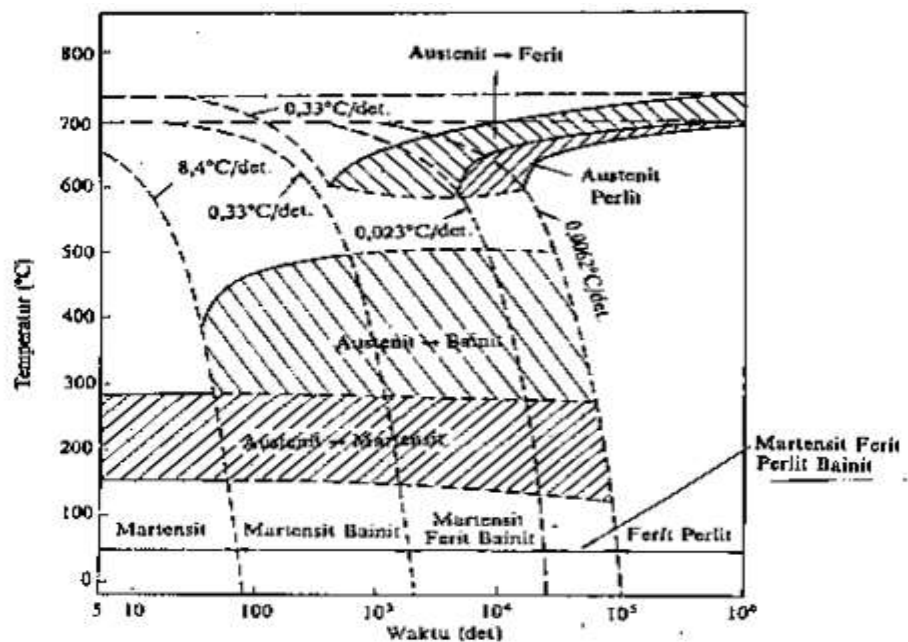
2.2.9.3 Logam Induk

Logam induk adalah bagian logam dasar di mana panas dan suhu pengelasan tidak menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan struktur dan sifat. Disamping ketiga pembagian utama tersebut masih ada satu daerah pengaruh panas, yang disebut batas las (Wirjosumarto, 2000).

2.2.10 Diagram CCT (*continuous cooling transformation*)

Pada proses pengelasan, transformasi austenit menjadi ferit merupakan tahap yang paling penting karena akan mempengaruhi struktur logam las, hal ini disebabkan karena sifat-sifat mekanis material ditentukan pada tahap tersebut. Faktor-faktor yang mempengaruhi transformasi austenit menjadi ferit adalah masukan panas, komposisi kimia las, kecepatan pendinginan dan bentuk sambungan las.

Struktur mikro dari baja pada umumnya tergantung dari kecepatan pendinginannya dari suhu daerah austenit sampai suhu kamar. Karena perubahan struktur ini maka dengan sendirinya sifat-sifat mekanik yang dimiliki baja juga akan berubah. Hubungan antara kecepatan pendinginan dan struktur mikro yang terbentuk biasanya digambarkan dalam diagram yang menghubungkan waktu, suhu dan transformasi, diagram tersebut dikenal dengan diagram CCT (*continuous cooling transformation*).



Gambar 2.10 Diagram CCT untuk Baja

Contoh diagram CCT ditunjukkan dalam gambar di atas, dari diagram di atas dapat dilihat bahwa bila kecepatan pendinginan naik berarti waktu pendinginan dari suhu austenit turun, struktur akhir yang terjadi berubah campuran ferit-perlit ke campuran ferit-perlit-bainit-martensit, ferit-bainit- martensit, kemudian bainit-martensit dan akhirnya pada kecepatan yang tinggi sekali struktur akhirnya adalah martensit (Wirjosumarto, 2000).

Struktur mikro dan sifat mekanis akhir lasan sangat ditentukan oleh laju pendinginan. Kecepatan pendinginan kritis atau *critical cooling rate* (CCR) adalah kecepatan pendinginan dimana pada batas ini cenderung timbulnya retak besar sekali, untuk baja akan terbentuk struktur martensit yang keras dan getas.

Kurva CCR ini ditunjukkan dengan adanya kurva yang menempel pada “nose” diagram TTT (*Time-Temperature-Transformation*), lihat pada **Gambar 2.6**. pada baja karbon rendah memiliki kecepatan pendinginan kritis yang tinggi. Bila sebuah logam memiliki CCR, kurva yang tepat menempel pada “nose”. Maka pada pendinginan udara biasa dapat dipastikan bahwa struktur lasnya bukan martensit dengan alasan kecepatan pendinginan pengelasan atau *cooling rate welding* (CRW) dengan udara berada disebelah kanan dari CCR-nya. Sebaliknya bila kurva CRW-nya berada pada sebelah kiri CCR (*lebih cepat dari CCR*) maka akan mempermudah timbulnya *crack*. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan *preheat* dan atau *postheat*. Karena pada baja karbon rendah kecepatan pendinginan kritis yang dimiliki tinggi maka tidak diperlukannya *preheat* ataupun *postheat*. Pada akhir pengelasan akan menghasilkan struktur ulet sehingga sambungan diharapkan tahan terhadap *internal stress* yang terjadi dari proses las dan tidak menyebabkan *crack*.

2.2.11 Heat Input

Pencairan logam induk dan logam pengisi memerlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan dihasilkan dari bermacam-macam sumber tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi tiga parameter yaitu arus las, tegangan las dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang sering disebut heat input. Persamaan dari heat input hasil dari penggabungan ketiga parameter dapat dituliskan sebagai berikut:

$$HI(HeatInput) = \frac{\text{Tegangan pengelasan (E)} \times \text{Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (v)}}$$

Dari persamaan itu dapat dijelaskan beberapa pengertian antara lain, jika kita menginginkan masukan panas yang tinggi maka parameter yang dapat diukur yaitu arus las dapat diperbesar atau kecepatan las diperlambat. Besar kecilnya arus las dapat diukur langsung pada mesin las. Tegangan las umumnya tidak dapat diatur secara langsung pada mesin las, tetapi pengaruhnya terhadap masukan panas tetap ada.

Untuk memperoleh masukan panas yang sebenarnya dari suatu proses pengelasan, persamaan satu dikalikan dengan efisiensi proses pengelasan (η) sehingga persamaannya menjadi:

$$HI(HeatInput) = \eta \times \frac{\text{Tegangan pengelasan (E)} \times \text{Arus pengelasan (I)}}{\text{Kecepatan pengelasan (v)}}$$

Efisiensi masing-masing proses pengelasan dapat dilihat dari tabel di bawah ini:

Tabel 2.3 Efisiensi proses pengelasan

Proses pengelasan	Efisiensi (%)
SAW (<i>Submerged Arc Welding</i>)	95
GMAW (<i>Gas Metal Arc Welding</i>)	90
FCAW (<i>Flux Cored Arc Welding</i>)	90
SMAW (<i>Shielded Metal Arc Welding</i>)	90
GTAW (<i>Gas Tungsten Arc Welding</i>)	70

2.2.12 Foto Struktur Mikro

Struktur bahan dalam orde kecil sering disebut struktur mikro. Struktur ini tidak dapat dilihat dengan mata telanjang, tetapi harus menggunakan alat pengamat struktur mikro. Penelitian ini menggunakan mikroskop cahaya. Persiapan yang dilakukan sebelum mengamati struktur mikro adalah pengefraisan spesimen, pengampelasan, pemolesan dan pengetsaan. Setelah dipilih, bahan uji diratakan kedua permukaannya

dengan menggunakan mesin frais, dalam pendinginan harus selalu terjaga agar tidak timbul panas yang mempengaruhi struktur mikro. Setelah rata digosok dengan menggunakan ampelas mulai dari yang kasar sampai yang halus. Arah pengampelasan tiap tahap harus diubah, pengampelasan yang lama dan penuh kecermatan akan menghasilkan permukaan yang halus dan rata. Bahan yang halus dan rata itu diberi autosol untuk membersihkan noda yang menempel pada bahan. Langkah terakhir sebelum dilihat struktur mikro adalah dengan mencelupkan spesimen kedalam larutan etsa dengan penjepit tahan karat dan permukaan menghadap keatas. Kemudian spesimen dicuci, dikeringkan dan dilihat stuktur mikronya.

2.2.13 Pengujian *Non-Destructive Test Radiography*

Radiografi merupakan salah satu metode yang digunakan dalam pengujian *Non-Destructive Test* (NDT). Yang dimaksud dengan pengujian tanpa merusak adalah pengujian bahan dengan tidak merusak bahan yang diuji baik sifat fisik maupun kimia dari bahan tersebut, selama dan setelah pengujian tidak mengalami perubahan. Tujuannya untuk mengetahui kualitas barang atau bahan yang merupakan salah satu cara pengendalian dalam memenuhi standard yang ditetapkan.

Pengujian dengan metode radiografi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam NDT. Metode radiografi mempunyai daya penetrasi dan penyerapan dari radiasi sinar-x dan sinar γ (gamma), maka radiografi dapat digunakan untuk memeriksa pada sambungan las.

Keuntungan dari pemeriksaan radiografi meliputi:

- a. Dapat digunakan untuk berbagai material
- b. Menghasilkan visual image yang permanen
- c. Dapat memperlihatkan kondisi asli bagian dalam material
- d. Dapat memperlihatkan bentuk cacat.

Kerugian / keterbatasan dari pemeriksaan radiografi meliputi :

- a. Tidak praktis digunakan pada spesimen – spesimen yang mempunyai bentuk geometris beragam / kompleks
- b. Pertimbangan keselamatan dan kesehatan dari bahaya yang ditimbulkan sinar x dan sinar γ (gamma) harus dipikirkan
- c. Peralatan yang digunakan relatif mahal
- d. Memerlukan operator yang benar-benar pengalaman
- e. Setiap operator atau pekerja harus berlisensi

2.2.14 Pengujian Metalografi

Metalografi merupakan disiplin ilmu yang mempelajari karakteristik mikrostruktur suatu logam dan paduannya serta hubungannya dengan sifat-sifat logam dan paduannya tersebut. Ada beberapa metode yang dipakai yaitu: mikroskop (optik maupun elektron), difraksi (sinar-X, elektron dan neutron), analisis (X-ray fluorescence, elektron mikroprobe) dan juga stereometric metalografi. Pada praktikum metalografi ini digunakan metode mikroskop, sehingga pemahaman akan cara kerja mikroskop, baik optik maupun elektron perlu diketahui.

Pengamatan metalografi dengan mikroskop umumnya dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metalografi makro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran 10 – 100 kali,
2. Metalografi mikro, yaitu pengamatan struktur dengan perbesaran diatas 100 kali.

Sebelum dilakukan pengamatan mikrostruktur dengan mikroskop maka diperlukan proses-proses persiapan sampel. Langkah-langkah dalam persiapan sampel untuk mikroskop, yaitu:

1. Pemotongan spesimen.
2. *Labeling*.
3. *Mounting* spesimen (bila diperlukan).
4. *Grinding* dan *polishing*.
5. Etsa.
6. Pembersihan dan pengeringan.

Setelah proses diatas sudah dilakukan, maka spesimen tersebut siap untuk diamati struktur makro dan mikro. Dari pengamatan itu bertujuan untuk mengetahui ada tidaknya cacat, struktur logamnya, dan sebagainya.

2.2.15 Pengujian Kekerasan Vickers

Kekerasan (*Hardness*) adalah salah satu sifat mekanik (*Mechanical properties*) dari suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan (*frictional force*) dan deformasi plastis. Deformasi plastis sendiri suatu keadaan dari suatu material ketika material tersebut diberikan gaya maka struktur mikro dari material tersebut sudah tidak bisa kembali ke bentuk asal artinya material tersebut tidak dapat kembali ke bentuknya

semula. Lebih ringkasnya kekerasan didefinisikan sebagai kemampuan suatu material untuk menahan beban indentasi atau penetrasi (penekanan).

Uji kekerasan Vickers menggunakan indenter berbentuk piramida intan dengan berbentukdasar bujur sangkar dengan besar sudut 136° terhadap kedua sisi yang berhadapan. Besar sudut itu digunakan karena merupakan perkiraan rasio terideal indentasi diameter bola uji brinell. Besar beban indenter bervariasi antara 1 kg sampai 120 kg yang disesuaikan dengan tingkat kekerasan material specimen. Uji kekerasan Vickers sesuai dengan standar ASTM E92.

Prinsip dari uji kekerasan Vickers adalah besar beban dibagi dengan luas daerah indentasi atau dapat dirumuskan seperti berikut ini :

$$VHN = \frac{2P \sin(\frac{\theta}{2})}{d^2} = \frac{(1,854)P}{d^2}$$

Dimana :

P = Beban (kg)

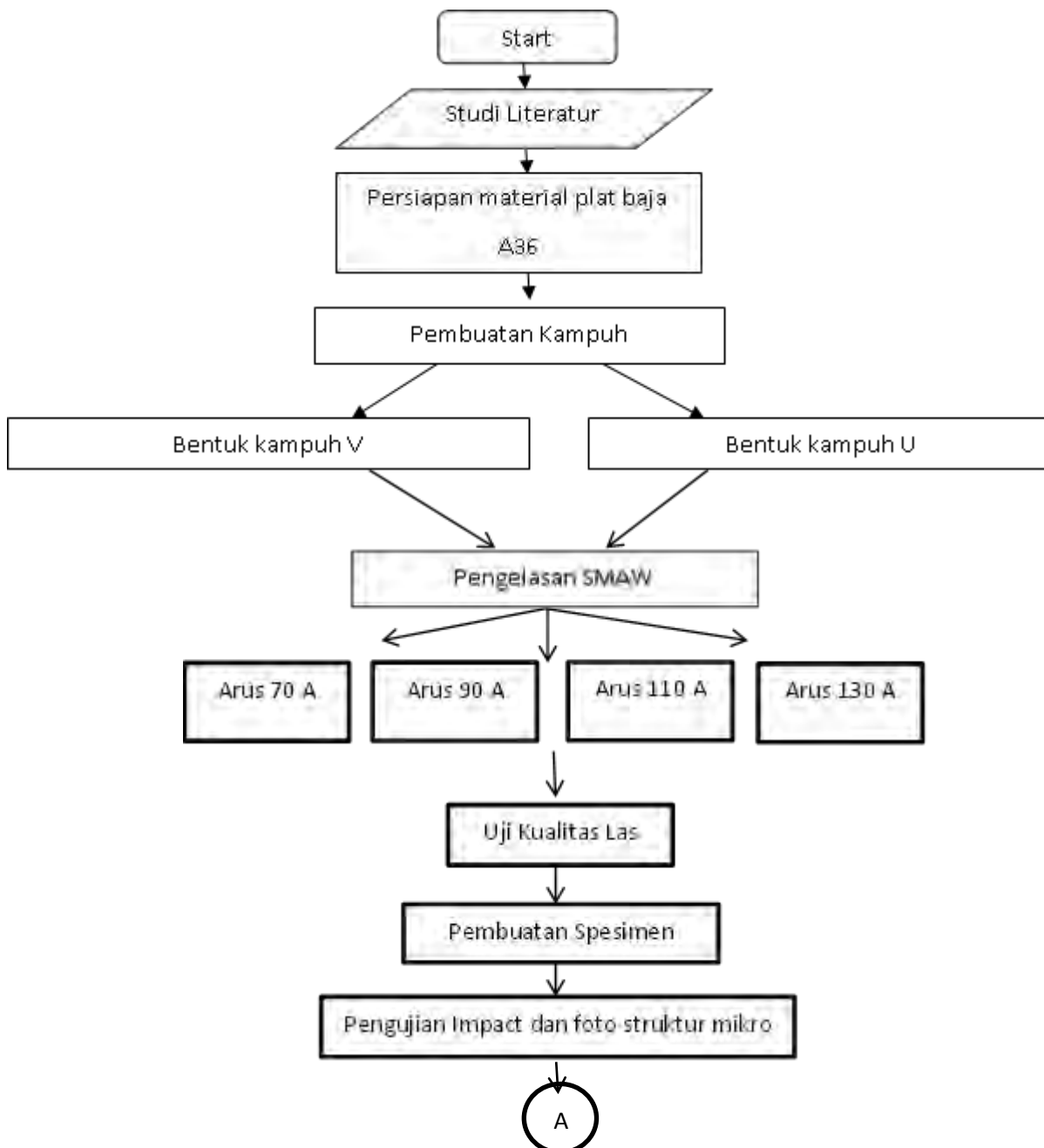
d = Panjang diagonal rata-rata (mm)

θ = Sudut piramida 136°

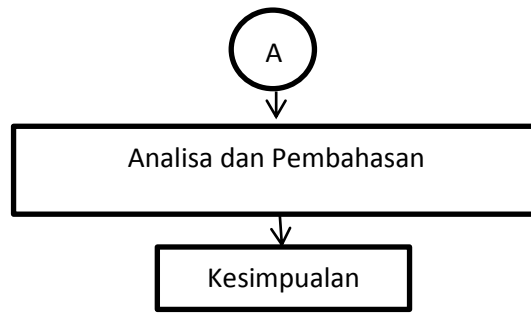
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam gambar 3.1.



Gambar 3.1 Digram alir pengerjaan tugas akhir



Gambar 3.1 Digram alir pengerjaan tugas akhir (Lanjutan)

3.2. Prosedur Penelitian

Langkah-langkah penelitian pengerjaan tugas akhir ini tertera dalam diagram alir gambar 4.1 dan dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Tugas akhir ini diawali dengan pemahaman materi baik yang didapatkan dari kuliah. Studi literatur meliputi mencari serta mempelajari buku, jurnal, ataupun laporan tugas akhir terdahulu yang membahas pokok permasalahan yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Literatur tersebut digunakan sebagai acuan ataupun referensi tugas akhir ini.

2. Persiapan Material Uji

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini adalah baja A36 dengan ukuran panjang 150 mm, lebar 150 mm, tebal 10 mm. Elektroda jenis E7018 dengan diameter 3,2 mm.

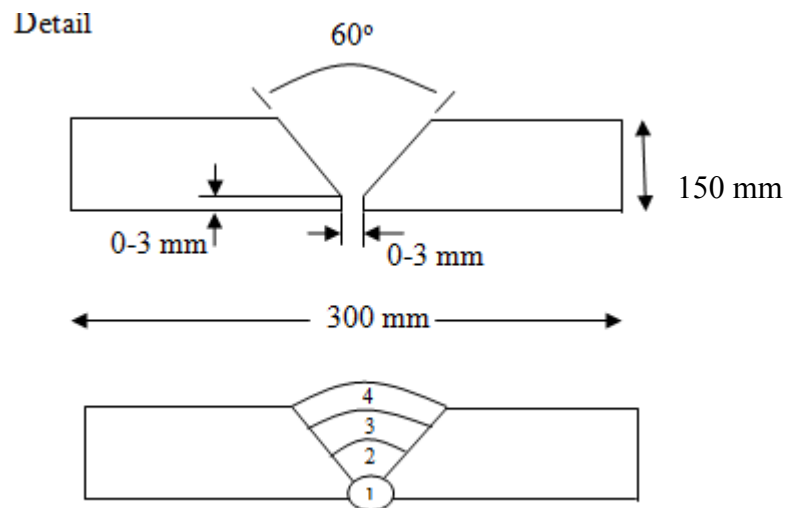
Persiapan Alat-alat

- a. Mesin gergaji beserta kelengkapannya
- b. Mesin skrap
- c. Mesin frais
- d. Peralatan pengelasan
- e. Mesin las SMAW
- f. Penggaris
- g. Mesin amplas
- h. Kikir
- i. Mesin uji foto struktur mikro
- j. Mesin uji ketangguhan (impact)
- k. Stopwatch
- l. Pengukur sudut

3. Pembuatan Kampuh dan Pengelasan SMAW

Menggunakan Kampuh Las V

Welder : Rachmad (Welder PPNS)
 Proses Pengelasan : SMAW (Shielded Metal Arc Welding)
 Desain Sambungan : Butt Joint
 Kampuh : Single V
 Material : Baja A36
 Elektroda : E7018 ϕ 3,2
 Dimensi : 150 mm x 150 mm x 10 mm
 Posisi : 1G



Gambar 3.2 Bentuk Kampuh V

Tabel 3.1 Welding Procedure untuk Arus 70A pada Kampuh V

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24
Hot	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24
Fill	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24
Cap	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24

Tabel 3.2 Welding Procedure untuk Arus 90A pada Kampuh V

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24
Hot	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24
Fill	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24
Cap	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24

Tabel 3.3 Welding Procedure untuk Arus 110A pada Kampuh V

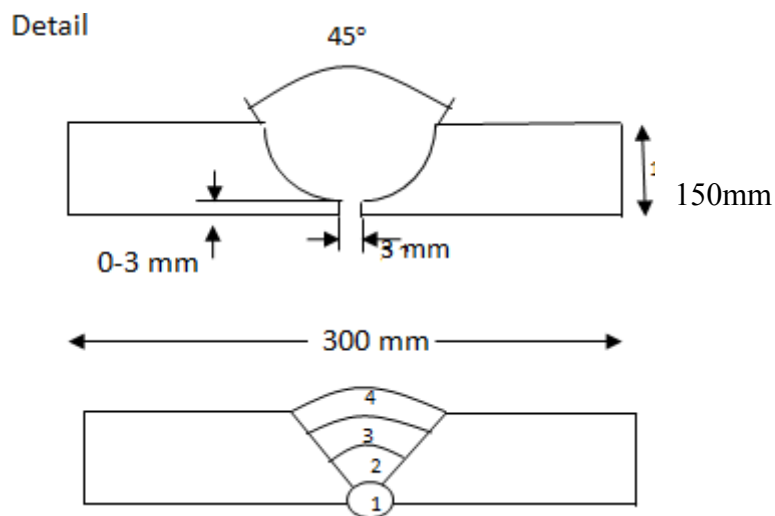
Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24
Hot	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24
Fill	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24
Cap	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24

Tabel 3.4 Welding Procedure untuk Arus 130A pada Kampuh V

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
1	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24
2	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24
3	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24
4	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24

Menggunakan Kampuh Las U

Welder : Rachmad (Welder PPNS)
 Proses Pengelasan : SMAW (Shielded *Metal Arc Welding*)
 Desain Sambungan : Butt Joint
 Kampuh : Single U
 Material : Baja A36
 Elektroda : E7018 ϕ 3,2
 Dimensi : 150 mm x 150 mm x 10 mm
 Posisi : 1G



Gambar 3.3 Bentuk Kampuh U

Tabel 3.5 Welding Procedure untuk Arus 70A pada Kamuh U

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24
Hot	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24
Fill	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24
Cap	SMAW	E7018	3,2	DCEP	70	24

Tabel 3.6 Welding Procedure untuk Arus 90A pada Kamuh U

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24
Hot	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24
Fill	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24
Cap	SMAW	E7018	3,2	DCEP	90	24

Tabel 3.7 Welding Procedure untuk Arus 110A pada Kamuh U

Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
Root	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24
Hot	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24
Fill	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24
Cap	SMAW	E7018	3,2	DCEP	110	24

Tabel 3.8 Welding Procedure untuk Arus 130A pada Kamuh U

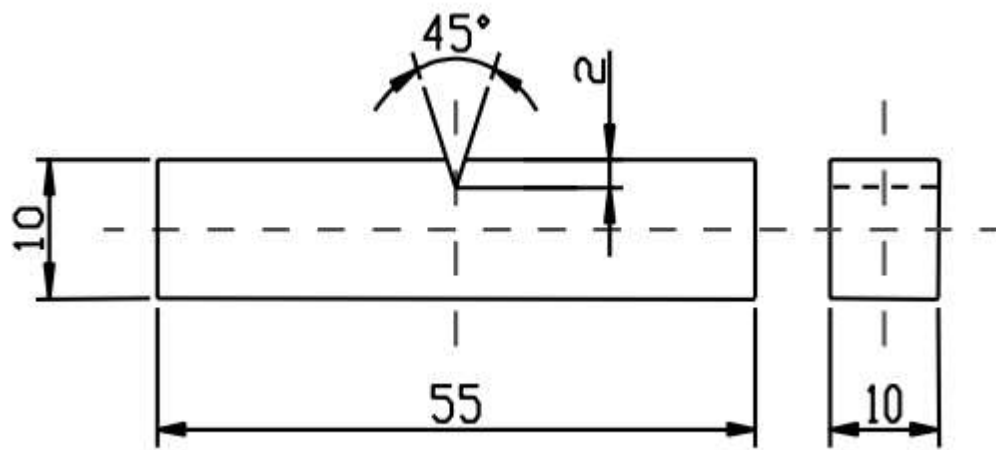
Weld Pass	Process	Electrode		Current Type and Polarity	Amps (A)	Volts (Volt)
		Class	Diameter (mm)			
1	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24
2	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24
3	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24
4	SMAW	E7018	3,2	DCEP	130	24

Prosedur pengerjaan pengelasan mengacu pada WPS berdasarkan standar AWS D1.1 2004 tentang prosedur pengelasan baja. Parameter yang diubah pada proses pengelasan kali ini adalah arus listrik dan bentuk kampuh. Hasil pengelasannya terdapat pada lampiran.

4. Dilakukan uji kualitas las dengan menggunakan uji NDT (non destructive test) untuk mengetahui apakah ada cacat/ diskontinuitas atau tidak pada material Baja A36 yang selesai dilas. Uji NDT sendiri menggunakan Radiografi interpretasi. Hasil radiografi tersebut terdapat pada lampiran.
5. Setelah itu hasil pengelasan di potong sehingga di dapatkan 40 spesimen dari variasi arus dan kampuh las yang nantinya 32 spesimen untuk pengujian impact dengan ukuran 55 mm x 10 mm x 10 mm dan 8 spesimen untuk pengujian mikro dengan ukuran 60 mm x 10 mm x 10 mm, pembuatan spesimen mengacu pada ASTM E23 untuk uji impact.



Gambar 3.4 Hasil Pengelasan Pada Kampuh V dan U



Gambar 3.5 Spesimen untuk Uji Impact



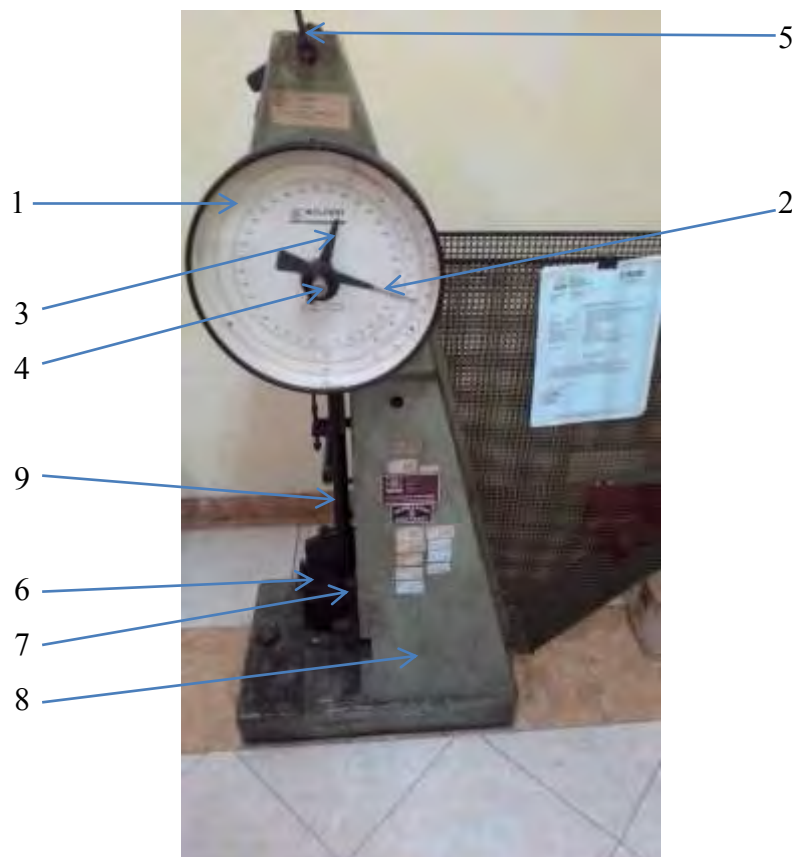
Gambar 3.6 Spesimen untuk Foto Struktur Mikro

6. Dilakukan uji impact untuk ke 32 spesimen tersebut agar didapatkan nilai kekuatan impact rata-rata dan 8 spesimen untuk Foto Struktur mikro.

1. Uji Impact

Prosedur dan pembacaan hasil pada pengujian ketangguhan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan peralatan mesin impact Charpy.
2. Menyiapkan benda uji yang akan dilakukan pengujian sesuai standar ukuran yang telah ditetapkan.
3. Menghitung tebal actual dan lebar actual untuk mengetahui luas penampang dibawah takikan.
4. Meletakkan benda uji pada anvil dengan posisi takikan membelakangi arah ayunan pendulum/ palu Charpy.
5. Menaikkan palu/ pendulum Charpy dengan menggunakan handle pengatur kemudian dikunci.
6. Putar jarum penunjuk sampai ke angka 0
7. Lepaskan kunci sehingga palu Charpy berayun membentur benda uji.
8. Memperhatikan dengan mencatat nilai tenaga patah pada jarum penunjuk.



Gambar 3.7 Alat pengujian ketangguhan

Keterangan :

1. Piring busur derajat
2. Jarum penunjuk sudut
3. Batang pembawa jarum
4. Tuas perangkat
5. Pengunci palu
6. Pendulum
7. Tempat benda uji dipasang
8. Badan mesin uji
9. Lengan

2. Foto Struktur Mikro

Sebelum melakukan pengujian foto struktur mikro benda uji perlu dipoles dahulu. Pemolesan dengan menggunakan ampelas grade 80 sampai 2000. Setelah spesimen diampelas dengan ukuran 2000 sampai halus kemudian diberi autosol agar spesimen lebih halus lagi.

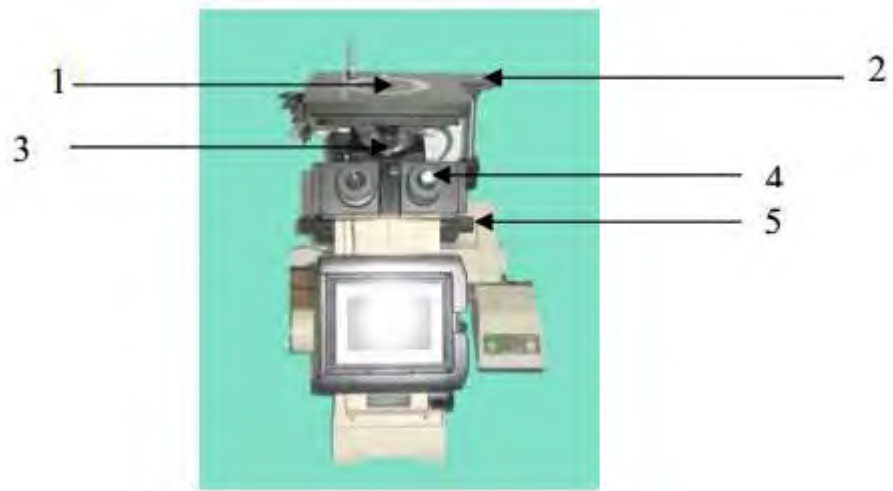


Gambar 3.8 Spesimen yang sudah di poles untuk Foto Struktur Mikro

Spesimen yang telah diproses dilanjutkan dengan pengujian foto struktur mikro, adapun langkah-langkahnya sebagai berikut:

1. Spesimen dibersihkan menggunakan kain, setelah itu dioles dengan kapas yang dibasahi cairan etsa kemudian dioleskan pada permukaan yang dikehendaki. Setelah selesai dioles dengan cairan etsa kemudian dibilas dengan alkohol.

2. Letakkan spesimen pada landasan mikroskop optik, aktifkan mesin, dekatkan lensa pembesar untuk melihat permukaan spesimen. Pengambilan foto struktur mikro dengan perbesaran 400x. Lihatlah struktur mikro apabila kurang jelas atau kabur, fokuskan lensa agar terlihat dengan jelas.
3. Sebelum gambar diambil, film dipasang pada kamera yang telah disetel sedemikian rupa dengan menggunakan film asa 200. Usahakan pada saat pengambilan foto tidak ada hal apapun yang membuat mikroskop optik bergerak, karena apabila mikroskop optik bergerak akan mempengaruhi hasilnya.
4. Pengambilan foto dan save foto.



Gambar 3.9 Mesin foto struktur mikro

Keterangan gambar :

1. Landasan spesimen
 2. Lengan pengatur kedudukan
 3. Lensa pengatur perbesaran
 4. Lensa untuk melihat
 5. Tuas pengatur perbesaran
3. Pengujian Kekerasan
- Spesimen yang telah di foto mikro, selanjutnya digunakan untuk pengujian kekerasan. Spesimen sebelumnya dipoles terlebih dahulu dengan menggunakan autosol, kemudian dietsa jenis HNO_3 .

Langkah pengujian :

1. Memasang indenter piramida intan. Penekanan piramida intan 136° dipasang pada tempat indenter mesin uji, kencangkan secukupnya agar penekan intan tidak jatuh.
2. Memberi garis warna pada daerah logam las, HAZ dan logam induk yang akan diuji.
3. Meletakkan benda uji di atas landasan.
4. Menentukan beban utama.
5. Menentukan titik yang akan diuji.
6. Menekan tombol indenter.



Gambar 3.10 Mesin pengujian kekerasan mikro *Vickers*

Keterangan gambar :

1. Lensa
2. Indenter *Vickers*
3. Landasan spesimen
4. Tuas penggerak maju-mundur spesimen
5. Pengukur diagonal bekas injakan indenter
6. Tuas penggerak kiri-kanan spesimen
7. Tombol indenter

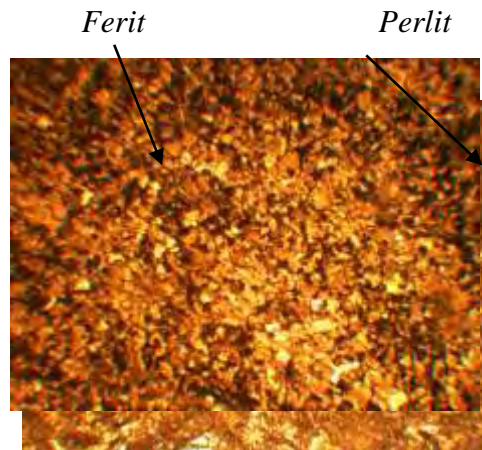
7. Selanjutnya dilakukan analisa dan pembahasan mengenai data hasil pengujian tersebut tentang arus dan bentuk kampuh yang tepat untuk memperoleh kekuatan *impact* yang baik untuk proses pengelasan SMAW.
8. Kemudian untuk selanjutnya dapat membuat kesimpulan yang sesuai dengan perumusan masalah dalam penelitian ini dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya sebagai penyempurnaan penelitian ini.

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Foto Struktur Mikro

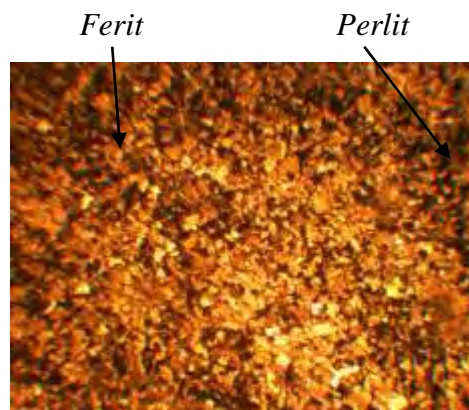
4.1.1 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 70 A kampuh U



Gambar 4.1 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 70 A kampuh U
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *ferit* yang berwarna terang, sedangkan butir-butir *perlit* lebih sedikit (berwarna gelap). Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir *perlit* cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase Struktur mikro *ferit* adalah 78,15% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 21,85%.

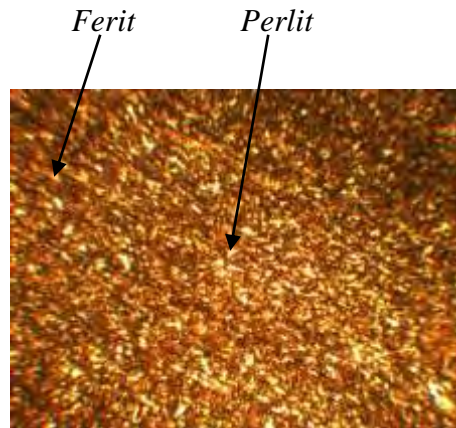
4.1.2 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 90 A kampuh U



Gambar 4.2 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 90 A kampuh U
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas terdiri dari butir-butir *ferit* yang berwarna terang, dan butir-butir *perlit* berwarna gelap. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir *perlit* cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase Struktur mikro *ferit* adalah 73,55% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 26,45%.

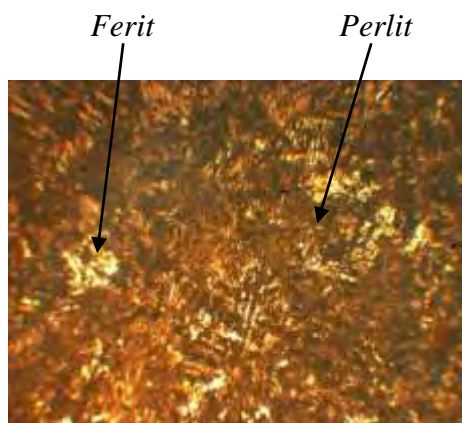
4.1.3 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 110 A kampuh U



Gambar 4.3 Foto Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 110 A kampuh U
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas terdiri dari butir-butir *ferit* yang berwarna terang, dan butir-butir *perlit* berwarna gelap. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir *perlit* cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase struktur mikro *ferit* adalah 63,94% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 36,06%.

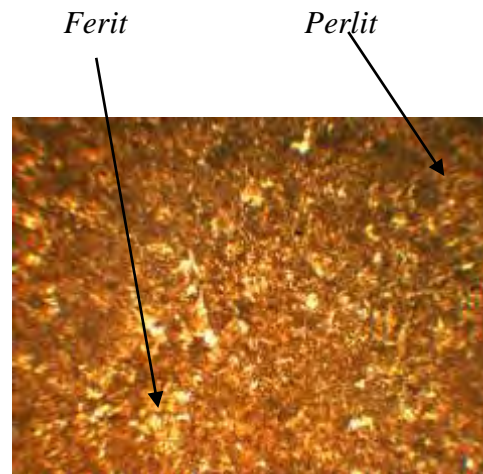
4.1.4 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 130 A kampuh U



Gambar 4.4 Foto Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 130 A kampuh U
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas terdiri dari butir-butir *ferit* yang berwarna terang, dan butir-butir *perlit* berwarna gelap. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir perlit cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase struktur mikro *ferit* adalah 52,76% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 47,24%.

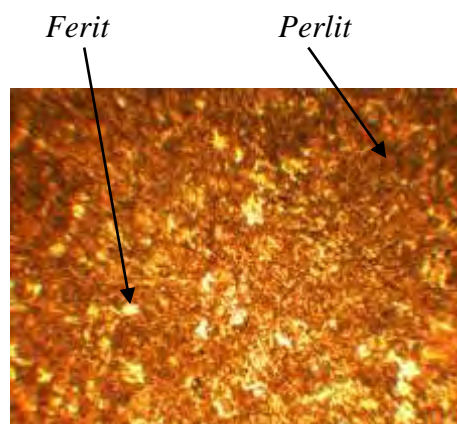
4.1.5 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 70 A kampuh V



Gambar 4.5 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 70 A kampuh V
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas terdiri dari butir-butir *ferit* yang berwarna terang, dan butir-butir *perlit* berwarna gelap. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir perlit cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase struktur mikro *ferit* adalah 54,89% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 45,11%.

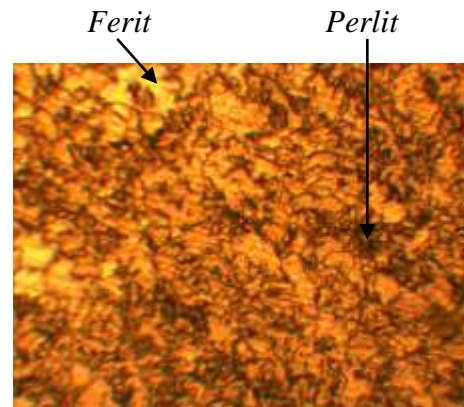
4.1.6 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 90 A kampuh V



Gambar 4.6 Foto Stuktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 90 A kampuh V
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas terdiri dari butir-butir *ferit* yang berwarna terang, dan butir-butir *perlit* berwarna gelap. Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir perlit cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase struktur mikro *ferit* adalah 62,22% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 33,78%.

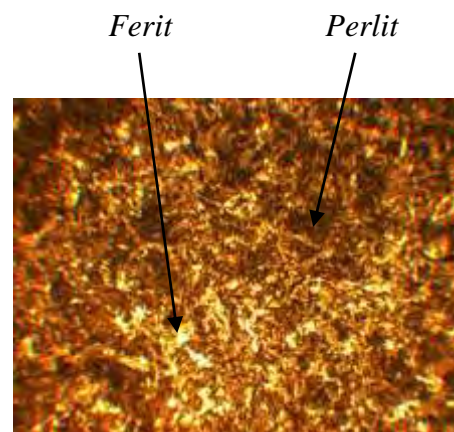
4.1.7 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 110 A kampuh V



Gambar 4.7 Foto Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 110 A kampuh V
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas didominasi butir-butir *ferit* yang berwarna terang, sedangkan butir-butir perlit lebih sedikit (berwarna gelap). Butir *ferit* cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir perlit cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase struktur mikro *ferit* adalah 70,76% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 29,24%.

4.1.8 Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 130 A kampuh V



Gambar 4.8 Foto Struktur Mikro pada *Weld Metal* Arus 130 A kampuh V
perbesaran 100 X

Struktur mikro pada gambar di atas terdiri dari butir-butir *ferit* yang berwarna terang, dan butir-butir *perlit* berwarna gelap. Butir *ferit* cenderung lebih halus

sedangkan butir *perlit* lebih kasar. Butir perlit cenderung keras sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Persentase struktur mikro *ferit* adalah 61,55% sedangkan struktur mikro *perlit* adalah 35,45%.

4.2 Hasil Uji Impact

Hasil dari pengujian ketangguhan impak berupa tenaga yang diserap (W) dalam satuan Joule dan nilai pukul takik (K) dalam satuan Joule/mm². Hasil yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel di bawah ini :

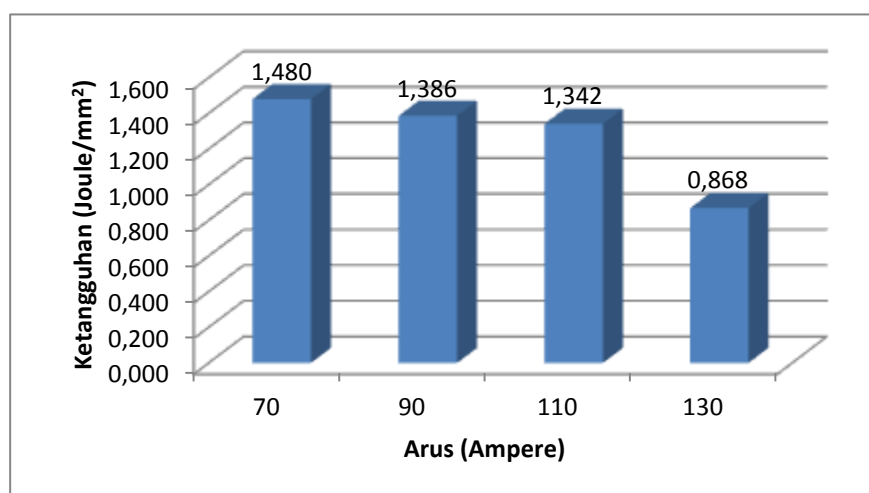
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Ketangguhan Impak pada Kampuh U

No	Parameter	Luas Penampang (mm ²)	Tenaga Patah(J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
1	Arus 70 A	90	127	1,411
2		91,07	127	1,395
3		90,64	131	1,445
4		76,12	127	1,668
Rata-rata		86,96	128	1,480
1	Arus 90 A	89,07	120	1,347
2		80,33	121	1,506
3		86,56	125	1,444
4		84,19	105	1,247
Rata-rata		85,04	117,75	1,386
1	Arus 110 A	91,99	129,5	1,408
2		101,6	130,5	1,284
3		93,78	128	1,365
4		98,08	128,5	1,310
Rata-rata		96,36	129,13	1,342
1	Arus 130 A	94,42	79	0,837
2		82,88	77	0,929
3		93,64	78,5	0,838
4		91,61	79,5	0,868
Rata-rata		90,64	78,50	0,868

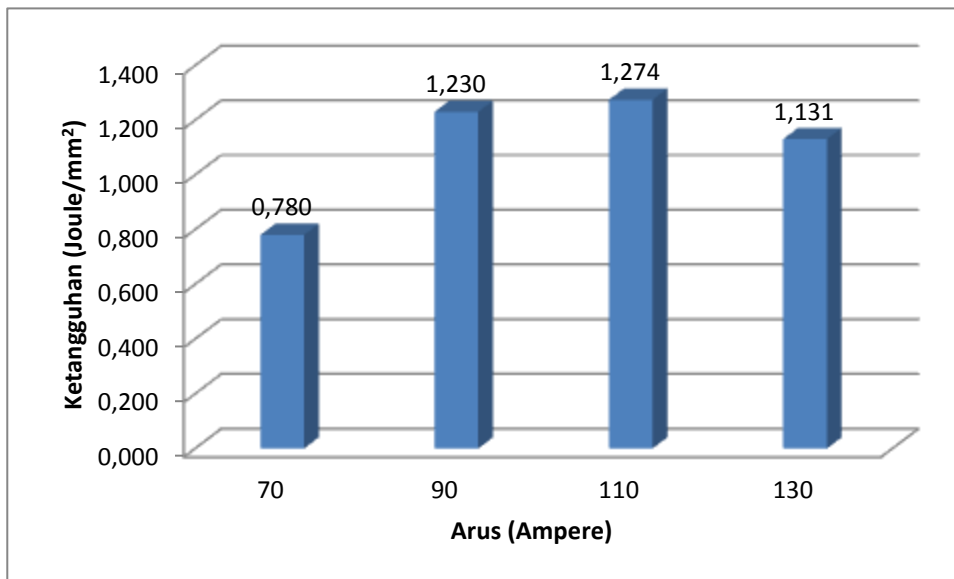
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Ketangguhan Impak pada Kampuh V

No	Parameter	Luas Penampang (mm ²)	Tenaga Patah(J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
1	Arus 70 A	91,04	67,5	0,741
2		86,37	65	0,753
3		91,39	72,5	0,793
4		88,83	74	0,833
Rata-rata		89,41	69,75	0,780
1	Arus 90 A	88,02	135	1,534
2		91,56	76	0,830
3		94,21	106,5	1,130
4		91,08	130	1,427
Rata-rata		91,22	111,88	1,230
1	Arus 110 A	95,11	135	1,419
2		98,08	118	1,203
3		91,19	135	1,480
4		90,48	90	0,995
Rata-rata		93,72	119,50	1,274
1	Arus 130 A	93,6	129	1,378
2		92,4	75	0,812
3		96,43	130	1,348
4		96,52	95	0,984
Rata-rata		94,74	107,25	1,131

Data-data dari Tabel 4.1 diatas dapat selanjutnya dimasukkan ke dalam diagram seperti di bawah ini:



Gambar 4.9 Diagram Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai *Impact* pada Kampuh U



Gambar 4.10 Diagram Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai *Impact* pada Kampuh V

Pada diagram pengaruh kuat arus terhadap nilai *impact* pada kampuh U di atas, untuk kuat arus 70 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,480 J/mm². Untuk kuat arus 90 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 0,974 J/mm². Untuk kuat arus 110 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,342 J/mm². Untuk kuat arus 130 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 0,779 J/mm².

Pada diagram pengaruh kuat arus terhadap nilai *impact* pada kampuh V di atas, untuk kuat arus 70 A didapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 0,780 J/mm². Untuk kuat arus 90 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,23 J/mm². Untuk kuat arus 110 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,274 J/mm². Untuk kuat arus 130 A di dapatkan nilai *impact* rata-rata sebesar 1,131 J/mm².

Dari pengolahan data pengujian ketangguhan *impact* pada bentuk kampuh diatas menunjukkan bahwa besar kecilnya arus listrik yang digunakan pada pengelasan akan mempengaruhi kekuatan *impact* suatu material. Hal ini dikarenakan semakin besarnya arus maka panas yang dihasilkan untuk mencairkan elektroda dengan pendinginan yang sama yaitu akan semakin bertambah, sehingga struktur baja yang terbentuk akan berbeda pula dan mempengaruhi kekuatan *impact*nya.

Semakin tinggi masukan panas maka struktur butiran yang terbentuk akan berbeda juga. Struktur butiran inilah yang akan mempengaruhi ketangguhan atau kekuatan *impact*nya. Masukan panas untuk mencairkan logam induk dan elektroda dapat di hitung dengan menggunakan rumus:

$$HI(HeatInput)=\eta \times \frac{Tegangan\ pengelasan\ (E) \times Arus\ pengelasan\ (I)}{Kecepatan\ pengelasan\ (v)}$$

Keterangan:

HI= *Heat Input* (kJ/mm)

η = Efisiensi mesin

E = Tegangan busur (volt)

I = Arus pengelasan (A)

v = Kecepatan pengelasan (mm/menit)

Dari rumus diatas dapat dilihat bahwa semakin besar arus yang digunakan pada proses pengelasan, maka akan semakin besar pula nilai *heat input* atau masukan panasnya. Berikut ini hasil perhitungan *heat input* pada arus 70, 90, 110 dan 130 ampere.

Tabel 4.3 Hasil *Heat Input*

Amps (A)	Kampuh	Volts	Efisiensi Mesin	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
70	U	24	0,9	74,25	20,36
90	U	24	0,9	69,25	28,07
110	U	24	0,9	59,75	39,77
130	U	24	0,9	57,25	49,05
70	V	24	0,9	70,75	21,27
90	V	24	0,9	68,5	28,38
110	V	24	0,9	60,5	39,27
130	V	24	0,9	58,25	48,21

Pada struktur mikro dimana butir-butir ferit cenderung lebih halus sedangkan butir *perlit* lebih kasar sehingga logam menjadi sangat getas. Butir *perlit* cenderung keras dan getas sedangkan butir *ferit* cenderung lunak atau ulet. Kegetasan sendiri disebabkan oleh butir-butir yang kasar. Apabila persentase struktur mikro *ferit* lebih banyak dibandingkan *perlite*, maka dapat menahan rambatan retak yang terjadi. Semakin banyak persentase *ferit* maka mempunyai ketangguhan yang semakin tinggi.

Pengujian impact untuk variasi arus pengelasan 70 Ampere pada kampuh U. Nilai kekuatan *impact* untuk sambungan baja A36 mempunyai nilai yang paling besar diantara variasi arus pengelasan. Pada kelompok variasi 70 Ampere, arus yang terjadi terlalu rendah menyebabkan sukarnya penyalaan busur listrik dan busur listrik yang terjadi tidak stabil. Panas yang dihasilkan tidak cukup untuk melelehkan elektroda serta penembusan yang terjadi kurang maksimal. Arus pengelasan 70 Ampere tidak termasuk dalam interval arus yang diijinkan untuk elektroda E7018 diameter 3,2 mm yaitu antara 80 A sampai 120 A. Nilai ketangguhan impak untuk arus 70 Ampere lebih tinggi dibandingkan dengan kelompok spesimen variasi arus pengelasan 90 Ampere, 110 Ampere dan 130 Ampere, karena persentase struktur mikro *ferit* lebih banyak dibandingkan *perlite* sehingga menahan rambatan retak yang terjadi. Ini berbanding lurus dengan pernyataan Lancaster (1996), bahwa semakin banyak *ferit* maka mempunyai ketangguhan yang semakin tinggi. Sementara untuk pengujian *impact* variasi arus pengelasan 70 Ampere pada kampuh V, Nilai kekuatan *impact*nya mempunyai nilai yang

paling kecil diantara variasi arus pengelasan. Hal ini dikarenakan persentase struktur mikro *ferit* tidak terlalu banyak dibandingkan dengan variasi arus lain.

Pengujian *impact* untuk variasi arus pengelasan 90 Ampere pada kampuh U. Nilai kekuatan *impact*nya mempunyai nilai yang lebih rendah dibanding kelompok variasi arus 70 Ampere, tetapi lebih tinggi dibanding kelompok variasi arus 110 A dan 130 Ampere. Pada kelompok ini, arus yang terjadi cukup stabil dibanding kelompok 70 Ampere dan 130 Ampere. Arus yang stabil ini menyebabkan penembusan dan nyala busur yang baik. Sementara untuk pengujian *impact* variasi arus pengelasan 90 Ampere pada kampuh V, nilai kekuatan *impact*nya mempunyai nilai lebih rendah dibanding kelompok variasi arus 110 A dan 130 A, tetapi lebih tinggi dibanding kelompok variasi arus 70 A.

Pengujian *impact* untuk variasi arus pengelasan 110 Ampere pada kampuh U. Nilai kekuatan *impact*nya mempunyai nilai yang lebih rendah dibanding kelompok variasi arus 70 Ampere dan 90 Ampere, tetapi lebih tinggi dibanding kelompok variasi arus 130 A. Pada kelompok ini, arus yang terjadi cukup stabil dibanding kelompok 70 Ampere dan 130 Ampere. Arus yang stabil ini menyebabkan penembusan dan nyala busur yang baik. Sementara untuk pengujian *impact* variasi arus pengelasan 110 Ampere pada kampuh V, Nilai kekuatan *impact*nya mempunyai nilai paling tinggi dibanding kelompok variasi arus lainnya. Dikarenakan persentase struktur mikro *ferit* lebih banyak dibandingkan dengan variasi arus lainnya, sehingga menahan rambatan retak yang terjadi.

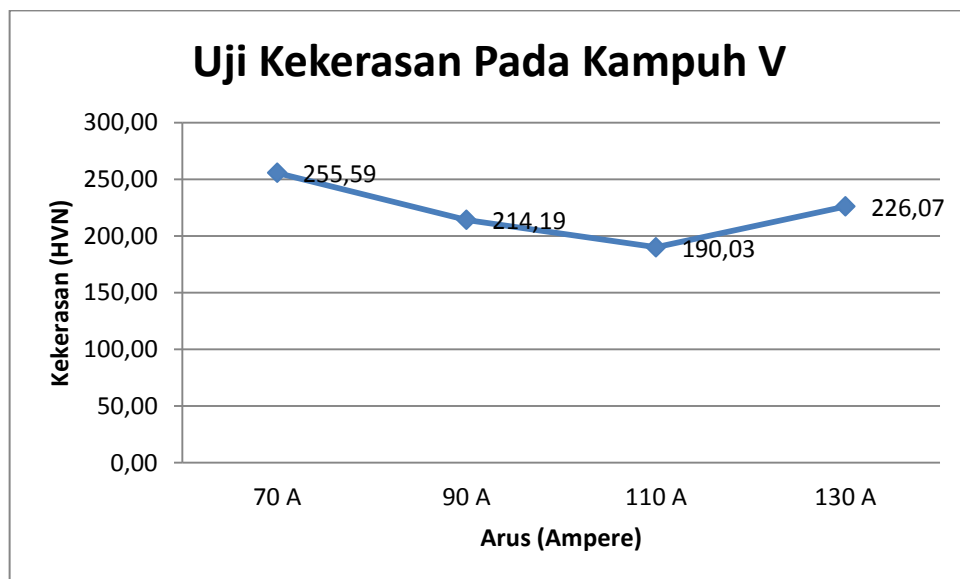
Pengujian *impact* untuk variasi arus pengelasan 130 A pada kampuh U. Nilai kekuatan *impact* mempunyai nilai yang paling rendah diantara variasi arus pengelasan lainnya. Arus pengelasan 130 A tidak termasuk dalam interval arus yang diijinkan untuk elektroda E7018 diameter 3,2 mm yaitu antara 80 A sampai 120 A. Pada pengelasan ini percikan busur terlihat lebih besar dan peleburan elektroda lebih cepat. Sementara untuk pengujian *impact* variasi arus pengelasan 130 Ampere pada kampuh V, nilai kekuatan *impact*nya mempunyai nilai lebih rendah dibanding kelompok variasi arus 90 A dan 110 A, tetapi lebih tinggi dibanding kelompok variasi arus 70 A.

4.3 Hasil Uji Kekerasan

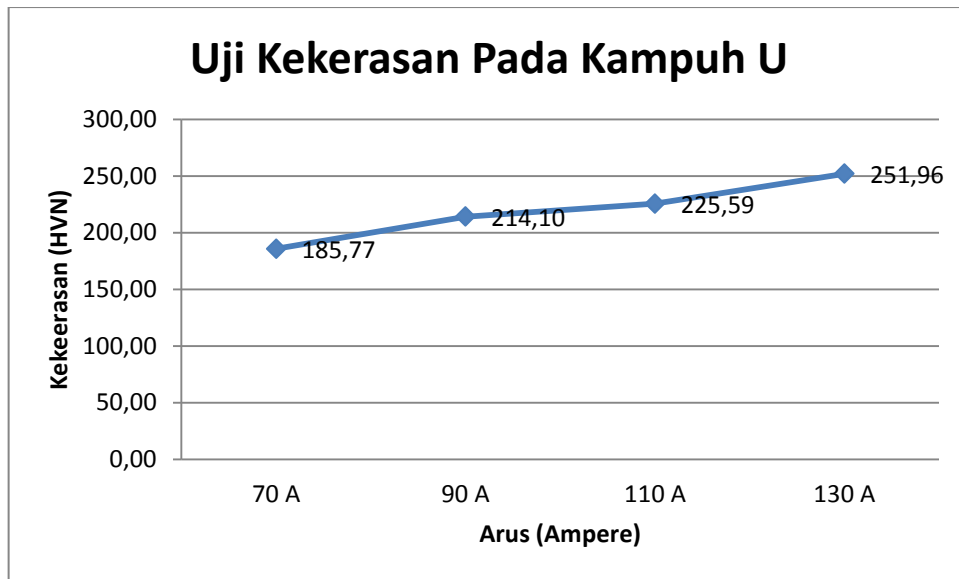
Tabel 4.4 Hasil Uji Kekerasan dalam satuan HVN atau kg/mm²

Titik	Daerah	Kampuh Las	Spesimen			
			Arus 70A	Arus 90A	Arus 110A	Arus 130A
1	Weld Metal	V	250,26	216,07	187,46	227,05
2			259,31	212,56	182,80	227,05
3			259,34	214,91	201,52	224,54
4			253,43	213,22	188,32	225,62
Rata-rata			255,59	214,19	190,03	226,07
1	Weld Metal	U	186,51	213,72	224,54	244,50
2			182,80	214,88	225,79	256,25
3			187,46	214,88	224,54	257,76
4			186,32	212,93	227,47	249,33
Rata-rata			185,77	214,10	225,59	251,96

Data-data dari Tabel 4.4 diatas dapat selanjutnya dimasukkan ke dalam grafik seperti di bawah ini :



Gambar 4.11 Grafik Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan pada Kampuh V



Gambar 4.12 Grafik Pengaruh Kuat Arus terhadap Nilai Kekerasan pada Kampuh U.

Pada diagram pengaruh kuat arus terhadap nilai kekerasan pada bentuk kampuh V di atas, untuk kuat arus 70 A didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 255,59 kg/mm². Untuk kuat arus 90 A di dapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 214,19 kg/mm². Untuk kuat arus 110 A di dapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 190,03 kg/mm². Untuk kuat arus 130 A di dapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 226,07 kg/mm². Pada diagram pengaruh kuat arus terhadap nilai kekerasan pada bentuk kampuh V di atas, untuk kuat arus 70 A didapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 185,77 kg/mm². Untuk kuat arus 90 A di dapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 214,10 kg/mm². Untuk kuat arus 110 A di dapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 225,59 kg/mm². Untuk kuat arus 130 A di dapatkan nilai kekerasan rata-rata sebesar 251,96 kg/mm².

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Semakin tinggi kuat arus pada bentuk kampuh V yang digunakan untuk arus 70 A, 90 A, 110 A, dan 130 A, maka kekuatan *impact*-nya akan semakin tinggi hingga mencapai titik maksimum pada arus 110 A sebesar 1,274 J/mm² lalu kembali mengalami penurunan pada arus 130 A sebesar 1,131 J/mm².
2. Semakin tinggi kuat arus pada bentuk kampuh U yang digunakan untuk arus 70 A, 90 A, 110 A, dan 130 A, maka kekuatan *impact*-nya akan semakin rendah, dimana nilai masing-masing kekuatan *impact*-nya dari arus 70 A sampai 130 A adalah sebesar 1,480 J/mm², 1,342 J/mm², 1,342 J/mm², dan 0,868 J/mm².
3. Kondisi optimal pengaruh variasi arus dan bentuk kampuh pada pengelasan SMAW terhadap kekuatan *impact* sambungan butt joint pada plat baja A36 adalah arus 70 A pada bentuk kampuh U sebesar 1,480 J/mm² dikarenakan semakin banyak persentase *ferit* maka mempunyai ketangguhan yang semakin tinggi, sehingga menahan rambatan retak yang terjadi.

5.2 Saran

1. Pada Penelitian selanjutnya variasi bentuk kampuh bisa diganti dengan variasi bentuk kampuh lainnya.
2. Elektroda yang digunakan pada penelitian ini adalah E7018 bisa diganti dengan jenis elektroda lainnya.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambah variasi suhu, variasi *heat input*, dan dengan pengujian lainnya sehingga dapat diperoleh hasil yang optimal untuk meningkatkan sifat mekanis dari jenis material Baja A36.

DAFTAR PUSTAKA

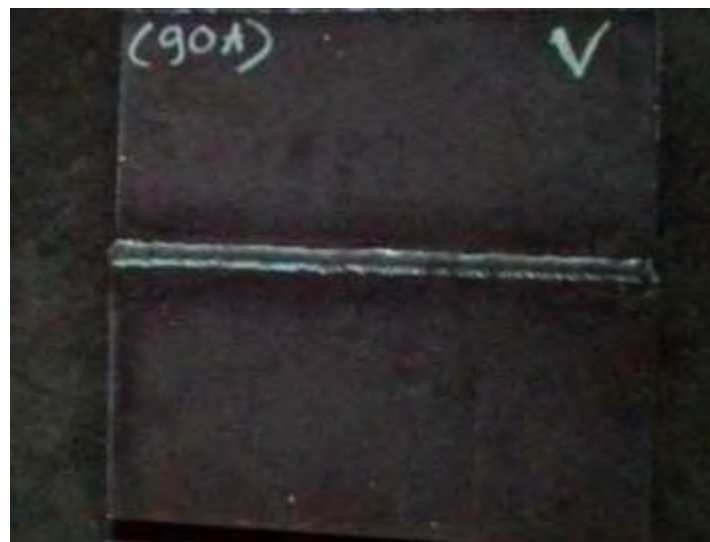
- Alip, M., 1989, *Teori dan Praktik Las*, Departemen Pendidikan dan Kebudayaan.
- Anam, Muhammad Saiful. 2009. “**Analisa Perilaku Tegangan Sisa Dan Sudut Distorsi Pada Sambungan Fillet Dengan Variasi Tebal Pelat Menggunakan Metode Elemen Hingga**”. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Arifin, S. , 1997, *Las Listrik dan Otogen*, Ghalia Indonesia, Jakarta.
- ASME section II. 2001. “**Materials**”. New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- ASME section IX. 2001. “**Qualification Standard For Welding And Brazing Procedures, Welders, Brazers, And Welding And Brazing Operators**”. New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- AWS.(2004). **American Welding Society**, Miami-Florida: American Welding Society.
- Bradley, GR., James, MN. 2000. “**Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy**”.5383-H321”.
- Genculu, Semih. 2007. **Structural Steel Welding**. Dakota : PDH Center.
- Gery , D., Long, h., Maropoulos, p. 2005. “Effects of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in butt joint welding”.
Journal of Materials Processing Technology. 167 : 393–401
- James, M.N., Hughes, D.J., Hattingh, D.G., Mills G., Webster, P.J. 2009. “Residual stress and strain in MIG butt welds in 5083-H321 aluminium: As-welded and fatigue cycled”. **International Journal of Fatigue** **31 (2009) 28–40**
- Stanhope, and Lancaster. (1996). Community Health Nursing : “**Process and Practice for Promoting Health**”. St. Louis. Mosby Company
- Katsas, S., Nikolaou, J., Papadimitriou, G. 2005. “Microstructural changes accompanying repair welding in 5xxx aluminium alloys and their effect on the mechanical properties”. **Materials and Design** **27 (2006) 968–975**
- Sonawan, Hery, Suratman R. 2003 “**Pengelasan Logam**”. Bandung
- Okumura T, Wiryosumarto H. 1994 “**Teknologi Pengelasan Logam=Welding Engineering**”.Jakarta : Pradnya Paramita.

1. Lampiran Gambar Hasil Pengelasan

Dalam penelitian pengelasan kali ini arus yang digunakan adalah 70 A, 90 A, 110 A, dan 130 A baik untuk Kampuh las V dan U.



Gambar 1 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las V dan Arus 70
A



Gambar 2 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las V dan Arus 90
A



Gambar 3 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las V dan Arus 110

A



Gambar 4 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las V dan Arus 130

A



Gambar 5 Hasil secara keseluruhan pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las V dengan Arus 70 A, 90 A, 110 A, dan 130 A



Gambar 6 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las U dan Arus 70 A



Gambar 7 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las U dan Arus 90
A



Gambar 8 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las U dan Arus 110
A



Gambar 9 Hasil pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las U dan Arus 130 A



Gambar 10 Hasil Secara keseluruhan pengelasan plat Baja A36 dengan menggunakan kampuh Las U dan Arus 70 A, 90 A, 110 A, dan 130 A

2. Lampiran Hasil laporan uji Radiografi (NDT)

ROBUTECH		RADIOGRAPHIC EXAMINATION REPORT				Sheet 1 of 1	
Customer: YUGAS ABIM		Report No: DOL-RT/RET/03/13		Drawing No:		RT-P-04	
Location: SURABAYA		Exposure No:		Applicable Code:		AWS D1.1	
PAGE Page: 1 of 1 Up: 1.0 mm Root Rpt Type: A-B Root Mat Type: 1.0 mm Reprocessing: 4 min Reaming: No <input type="checkbox"/> Yes <input checked="" type="checkbox"/>		RADIATION SOURCE Isotope Type: Ir-192 Activity: 50 Ci X-ray Equipment: Voltage: 150 kVp Current: 10 mA Source Size (mm): 3 x 3		RADIOGRAPHIC FILM Brand: 1118 Film Type: KODAK Dimensions: 9X11 inch No. of film in a cassette: 1 Lead letter "B" used: Yes <input checked="" type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>		LEAD SCREEN Thickness: 0.125 mm Placement: Front <input checked="" type="checkbox"/> Back <input type="checkbox"/> MARKER Placement: Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/>	
TECHNIQUE Exposure: Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/> Viewing: Single Wall <input checked="" type="checkbox"/> Double Wall <input type="checkbox"/> Exposure Time: 35 Sec UG: 0.020 inch SOD: 12 inch SOR: 12.5 inch		EXPOSURE TECHNIQUE SKETCH Diagram showing exposure setup with source, film, and lead screen.		IMAGE QUALITY INDICATOR Wire: Set 18 Wire 18 Dia: 0.33 mm Scale: Designation: Visible Scale IT: <input type="checkbox"/> 1T <input type="checkbox"/> 2T <input type="checkbox"/> 3T Placement: Source Side <input checked="" type="checkbox"/> Film Side <input type="checkbox"/> DENSITY: Min: 2 Max: 4			
Date of RT: 15-10-2013 Welder Stamp: [Stamp]		Identification Joint Name: A-B Interest Area: A-B		Sensitivity Wire: 18 Wire Size: 0.33 mm		Discontinuity Type: IP, RC, UC, P, NC, CR Result: Acc, Rep	
TA SURUAN							
SD-10-15	V90A	A-B	5 wire	V	ACC	(4mm) PASSED	
	V70A	A-B	5 wire	V	REP	(Elongated 4mm) FAILED	
	V110A	A-B	5 wire	V	Acc	(9mm) PASSED	
	V130A	A-B	5 wire	V	REP	(11) FAILED	
	U90A	A-B	5 wire	V	REP	(P3mm, CP11mm) FAILED	
	U70A	A-B	5 wire	V	REP	(Elongated 55mm) FAILED	
	U110A	A-B	5 wire	V	Acc	(P1mm) PASSED	
	U130A	A-B	5 wire	V	Acc	(P1mm) PASSED	
Type of Discontinuity: IP: Incomplete Fusion, RP: Incomplete Penetration, UC: Undercut, RC: Root Concavity, P: Porosity, INC: Inclusion, CR: Crack Welding Process(es): SMAW Total Film/s: 4" x 10" = 40 Sheet/s 4" x 10" = 40 Sheet/s							
Examined By:		Reviewed/Witnessed By:		Reviewed/Witnessed By:		Reviewed/Witnessed By:	
 Date: 15-10-2013		Date:		Date:		Date:	

Gambar 11 Hasil Uji Radiografi Untuk Kampuh Las V dan U

3. Lampiran Perhitungan Heat input

Amps (A)	Kampuh	Volts	Efisiensi Mesin	Travel Speed (mm/min)	Heat Input (kJ/mm)
70	U	24	0,9	74,25	20,36
90	U	24	0,9	69,25	28,07
110	U	24	0,9	59,75	39,77
130	U	24	0,9	57,25	49,05
70	V	24	0,9	70,75	21,27
90	V	24	0,9	68,5	28,38
110	V	24	0,9	60,5	39,27
130	V	24	0,9	58,25	48,21

- Nilai Heat input pada arus 70 A bentuk kampuh U

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin} \times \text{Tegangan pengelasan} \times \text{arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 70}{74,25} \\
 &= 20,36 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 90 A bentuk kampuh U

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin} \times \text{Tegangan pengelasan} \times \text{arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 90}{69,25} \\
 &= 28,07 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 110 A bentuk kampuh U

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin} \times \text{Tegangan pengelasan} \times \text{arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 110}{59,75} \\
 &= 39,77 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 130 A bentuk kampuh U

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin X Tegangan pengelasan X arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 130}{57,25} \\
 &= 49,05 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 70 A bentuk kampuh V

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin X Tegangan pengelasan X arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 70}{70,75} \\
 &= 21,27 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 130 A bentuk kampuh V

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin X Tegangan pengelasan X arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 90}{68,05} \\
 &= 28,38 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 110 A bentuk kampuh V

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin X Tegangan pengelasan X arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 110}{60,05} \\
 &= 39,27 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

- Nilai Heat input pada arus 130 A bentuk kampuh V

$$\begin{aligned}
 \text{Heat input} &= \frac{\text{efisiensi mesin} \times \text{Tegangan pengelasan} \times \text{arus}}{\text{Kecepatan pengelasan}} \\
 &= \frac{0,9 \times 24 \times 130}{58,25} \\
 &= 48,21 \text{ kJ/mm}
 \end{aligned}$$

4. Lampiran Perhitungan Ketangguhan (Nilai Pukul Takik)

$$K = \frac{A}{W}$$

Dimana : K = Nilai pukul takik (Joule/mm²)

A= Luas penampang mula dibawah takikan (mm²)

W =Tenaga patah (Joule)

$$A= a \times l$$

Dimana : a = Tinggi dibawah takikan (mm)

l = lebar spesimen (mm)

Pada Kampuh U

No	Parameter	Tinggi dibawah takikan (mm)	lebar spesimen (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Tenaga Patah(J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
1	Arus 70 A	9,01	9,99	90	127	1,411
2		9,19	9,91	91,07	127	1,395
3		9,01	10,06	90,64	131	1,445
4		8,65	8,8	76,12	127	1,668
Rata-rata				86,96	128	1,480
1	Arus 90 A	8,81	10,11	89,07	120	1,347
2		8,29	9,69	80,33	121	1,506
3		8,86	9,77	86,56	125	1,444
4		8,68	9,7	84,19	105	1,247
Rata-rata				85,04	117,75	1,386
1	Arus 110 A	9,19	10,01	91,99	129,5	1,408
2		9,64	10,54	101,6	130,5	1,284
3		9,35	10,03	93,78	128	1,365
4		9,74	10,07	98,08	128,5	1,310
Rata-rata				96,36	129,13	1,342
1	Arus 130 A	9,48	9,96	94,42	79	0,837
2		8,11	10,22	82,88	77	0,929
3		9,03	10,37	93,64	78,5	0,838
4		9,08	10,09	91,61	79,5	0,868
Rata-rata				90,64	78,50	0,868

Pada Kampuh V

No	Parameter	Tinggi dibawah takikan (mm)	lebar spesimen (mm)	Luas Penampang (mm ²)	Tenaga Patah(J)	Ketangguhan (Joule/mm ²)
1	Arus 70 A	9,29	9,8	91,04	67,5	0,741
2		8,69	9,94	86,37	65	0,753
3		8,4	10,88	91,39	72,5	0,793
4		8,15	10,9	88,83	74	0,833
Rata-rata				89,41	69,75	0,780
1	Arus 90 A	9,14	9,63	88,02	135	1,534
2		8,92	10,3	91,56	76	0,830
3		9,45	9,97	94,21	106,5	1,130
4		9	10,12	91,08	130	1,427
Rata-rata				91,22	111,88	1,230
1	Arus 110 A	9,53	9,98	95,11	135	1,419
2		9,15	10,72	98,08	118	1,203
3		8,82	10,34	91,19	135	1,480
4		9,03	10,02	90,48	90	0,995
Rata-rata				93,72	119,50	1,274
1	Arus 130 A	9,24	10,13	93,6	129	1,378
2		9,14	10,11	92,4	75	0,812
3		9,51	10,14	96,43	130	1,348
4		9,5	10,16	96,52	95	0,984
Rata-rata				94,74	107,25	1,131

- Nilai pukul takik pada arus 70 A bentuk kampuh U

$$K_1 = 127 \text{ Joule}/90 \text{ mm}^2$$

$$= 1,411 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_2 = 127 \text{ Joule}/91,07 \text{ mm}^2$$

$$= 1,395 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_3 = 131 \text{ Joule}/90,64 \text{ mm}^2$$

$$= 1,445 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_4 = 127 \text{ Joule}/76,12 \text{ mm}^2$$

$$= 1,668 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 K \text{ rata-rata} &= \frac{1,411 + 1,395 + 1,445 + 1,668 \text{ Joule/mm}^2}{4} \\
 &= 1,48 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai pukul takik pada arus 90 A bentuk kampuh U

$$\begin{aligned}
 K_1 &= 120 \text{ Joule}/89,07 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,347 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_2 &= 121 \text{ Joule}/80,33 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,506 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_3 &= 125 \text{ Joule}/86,56 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,444 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_4 &= 105 \text{ Joule}/84,19 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,247 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K \text{ rata-rata} &= \frac{1,347 + 1,506 + 1,444 + 1,247 \text{ Joule/mm}^2}{4} \\
 &= 1,386 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

- Nilai pukul takik pada arus 110 A bentuk kampuh U

$$\begin{aligned}
 K_1 &= 129,5 \text{ Joule}/91,99 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,408 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_2 &= 130,5 \text{ Joule}/101,6 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,284 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K_3 &= 128 \text{ Joule}/98,08 \text{ mm}^2 \\
 &= 1,365 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$K_4 = 128,5 \text{ Joule}/98,08 \text{ mm}^2$$

$$= 1,310 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K \text{ rata-rata} = \frac{1,408 + 1,284 + 1,365 + 1,310 \text{ Joule}/\text{mm}^2}{4}$$

$$= 1,342 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

- Nilai pukul takik pada arus 130 A bentuk kampuh U

$$K_1 = 79 \text{ Joule}/94,42 \text{ mm}^2$$

$$= 0,837 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_2 = 77 \text{ Joule}/82,88 \text{ mm}^2$$

$$= 0,929 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_3 = 78,5 \text{ Joule}/93,64 \text{ mm}^2$$

$$= 0,838 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_4 = 79,5 \text{ Joule}/91,61 \text{ mm}^2$$

$$= 0,868 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K \text{ rata-rata} = \frac{0,837 + 0,929 + 0,838 + 0,868 \text{ Joule}/\text{mm}^2}{4}$$

$$= 0,868 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

- Nilai pukul takik pada arus 70 A bentuk kampuh V

$$K_1 = 67,5 \text{ Joule}/91,04 \text{ mm}^2$$

$$= 0,741 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_2 = 65 \text{ Joule}/86,37 \text{ mm}^2$$

$$= 0,753 \text{ Joule}/\text{mm}^2$$

$$K_3 = 72,5 \text{ Joule}/91,39 \text{ mm}^2$$

$$= 0,793 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_4 = 74 \text{ Joule}/88,83 \text{ mm}^2$$

$$= 0,833 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K \text{ rata-rata} = \frac{0,741 + 0,753 + 0,793 + 0,833 \text{ Joule/mm}^2}{4}$$

$$4$$

$$= 0,780 \text{ Joule/mm}^2$$

- Nilai pukuk takik pada arus 90 A bentuk kampuh V

$$K_1 = 135 \text{ Joule}/88,02 \text{ mm}^2$$

$$= 1,534 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_2 = 76 \text{ Joule}/91,56 \text{ mm}^2$$

$$= 0,830 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_3 = 106,5 \text{ Joule}/94,21 \text{ mm}^2$$

$$= 1,130 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_4 = 130 \text{ Joule}/91,08 \text{ mm}^2$$

$$= 1,427 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K \text{ rata-rata} = \frac{1,534 + 0,830 + 1,130 + 1,427 \text{ Joule/mm}^2}{4}$$

$$4$$

$$= 1,230 \text{ Joule/mm}^2$$

- Nilai pukul takik pada arus 110 A bentuk kampuh V

$$K_1 = 135 \text{ Joule}/95,11 \text{ mm}^2$$

$$= 1,419 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_2 = 118 \text{ Joule}/98,08 \text{ mm}^2$$

$$= 1,203 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_3 = 135 \text{ Joule}/91,19 \text{ mm}^2$$

$$= 1,480 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_4 = 90 \text{ Joule}/90,48 \text{ mm}^2$$

$$= 0,995 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K \text{ rata-rata} = \frac{1,419 + 1,203 + 1,480 + 0,995 \text{ Joule/mm}^2}{4}$$

$$4$$

$$= 1,274 \text{ Joule/mm}^2$$

- Nilai pukul takik pada arus 130 A bentuk kampuh V

$$K_1 = 129 \text{ Joule}/93,6 \text{ mm}^2$$

$$= 1,378 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_2 = 75 \text{ Joule}/92,4 \text{ mm}^2$$

$$= 0,812 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_3 = 130 \text{ Joule}/96,43 \text{ mm}^2$$

$$= 1,348 \text{ Joule/mm}^2$$

$$K_4 = 95 \text{ Joule}/96,52 \text{ mm}^2$$

$$= 0,984 \text{ Joule/mm}^2$$

$$\begin{aligned}
 K \text{ rata-rata} &= \frac{1,378 + 0,812 + 1,348 + 0,984 \text{ Joule/mm}^2}{4} \\
 &= 1,131 \text{ Joule/mm}^2
 \end{aligned}$$

5. Lampiran gambar Material setelah di uji *Impact*



6. Lampiran Data Hasil Pengamatan Struktur Mikro

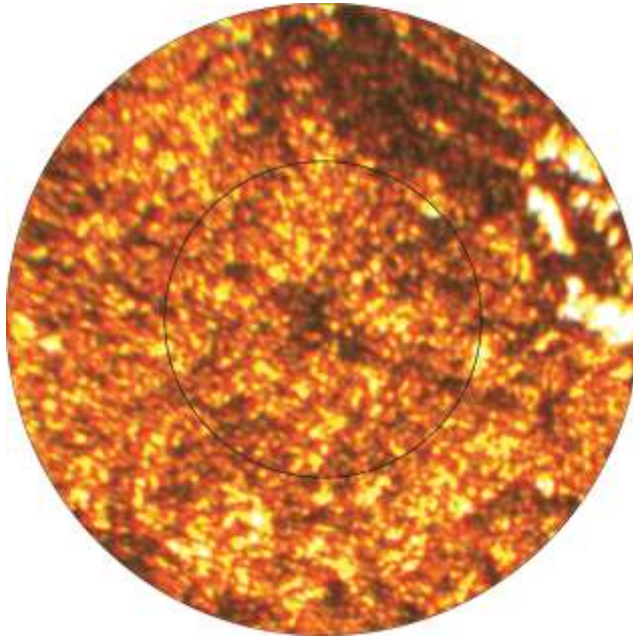
Arus	Kampuh Las	Posisi	Ferit	Perlit	M	f	NA		%	
							Ferit	Perlit	Ferit	Perlit
70A	U	n1	193	46	100	2	415	116	78,15	21,85
		n2	29	24						
90A	U	n1	68	22	100	2	153	55	73,55	26,45
		n2	17	11						
110A	U	n1	81	45	100	2	188	106	63,94	36,06
		n2	26	16						
130A	U	n1	74	66	100	2	172	153	52,76	47,24
		n2	24	21						
70A	V	n1	68	56	100	2	157	129	54,89	45,11
		n2	21	17						
90A	V	n1	113	56	100	2	249	127	66,22	33,78
		n2	23	15						
110A	V	n1	110	41	100	2	242	100	70,76	29,24
		n2	22	18						
130A	V	n1	136	83	100	2	293	183	61,55	38,45
		n2	21	17						

Keterangan :

n1 = Jumlah butir didalam lingkaran
 n2 = jumlah butir menyinggung lingkaran
 M = Pembesaran 100
 f = factor pengali pada *table Jefferies*
 f = 2
 Na = Jumlah butir

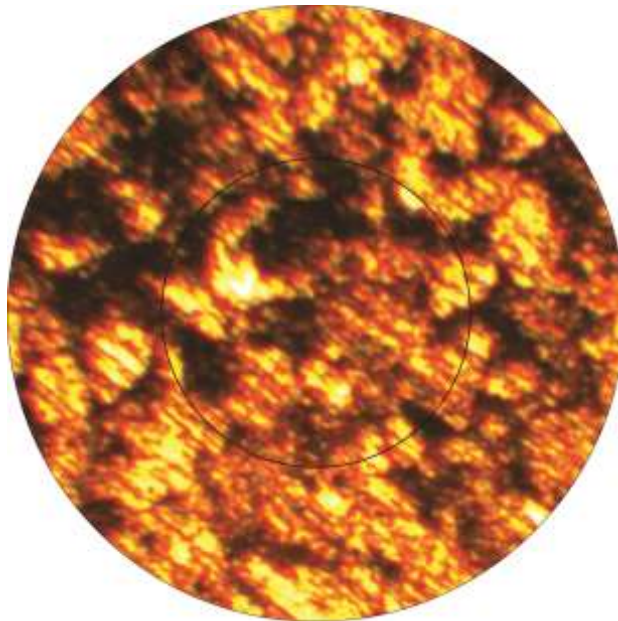
$$Na = f \cdot (n1 + (n2/2))$$

Pada Kampuh U Arus 70 A



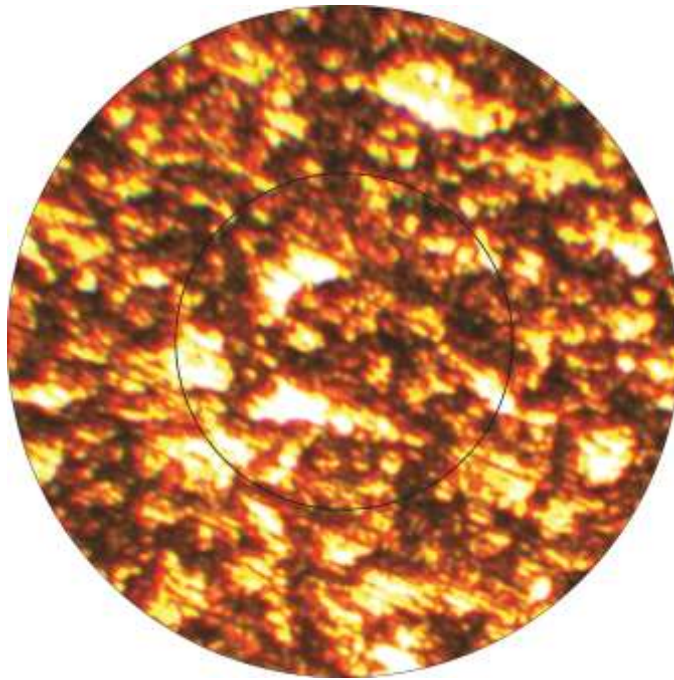
Gambar 1. Foto Struktur Mikro untuk Arus 70A Pada Bentuk Kampuh U

Pada Kampuh U Arus 90 A



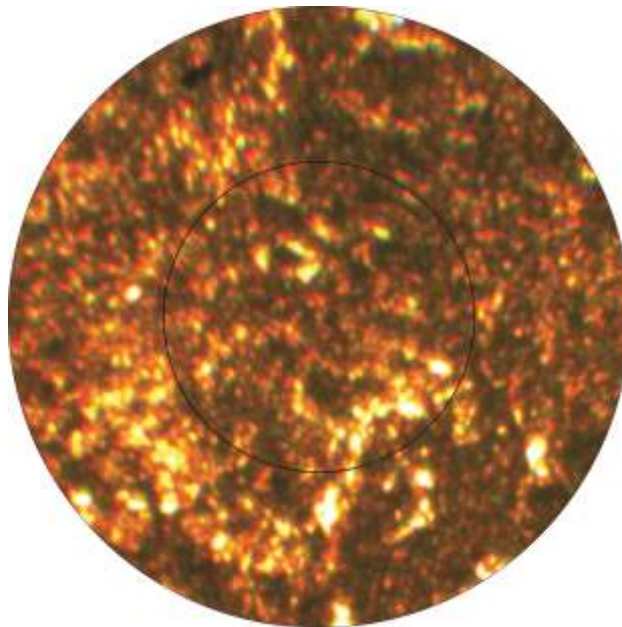
Gambar 2. Foto Struktur Mikro untuk Arus 90A Pada Bentuk Kampuh U

Pada Kampuh U Arus 110 A



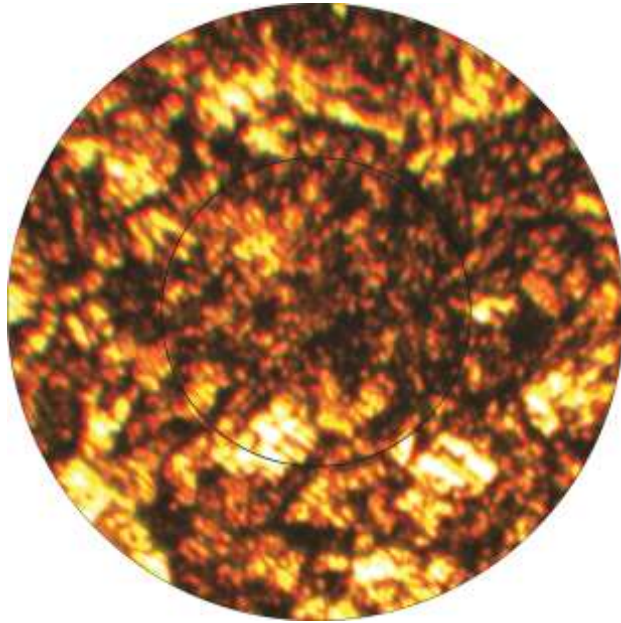
Gambar 3. Foto Struktur Mikro untuk Arus 110A Pada Bentuk Kampuh U

Pada Kampuh U Arus 130 A



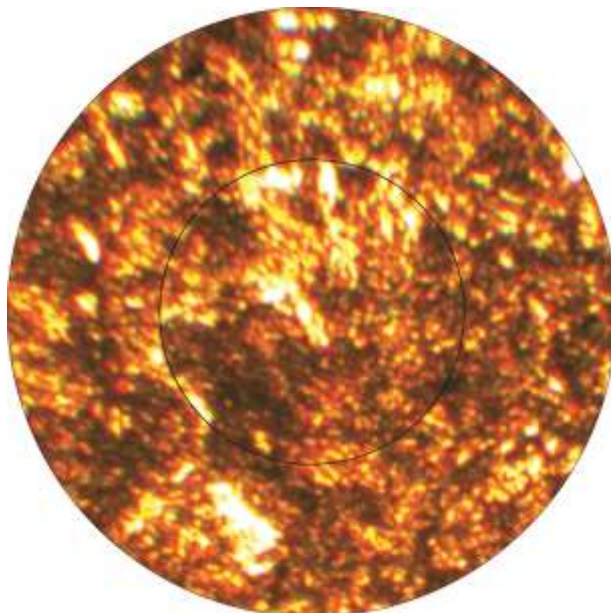
Gambar 4. Foto Struktur Mikro untuk Arus 130A Pada Bentuk Kampuh U

Pada Kampuh V Arus 70 A



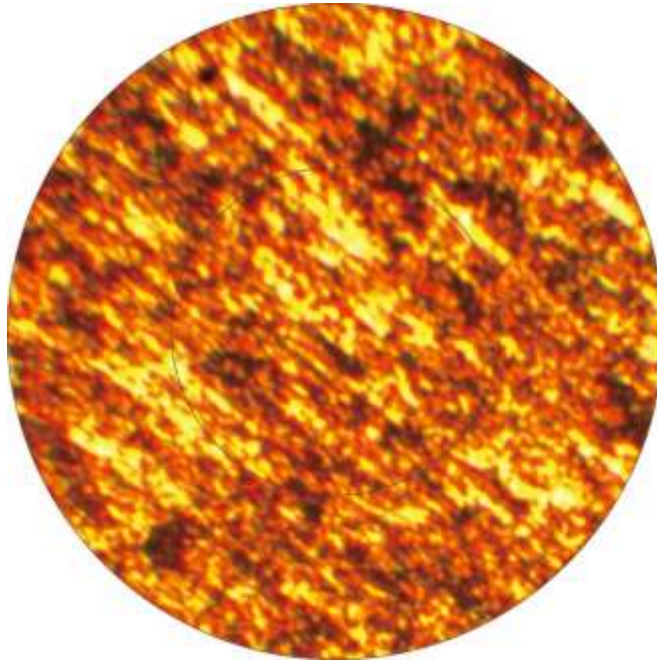
Gambar 5. Foto Struktur Mikro untuk Arus 70A Pada Bentuk Kampuh V

Pada Kampuh V Arus 90 A



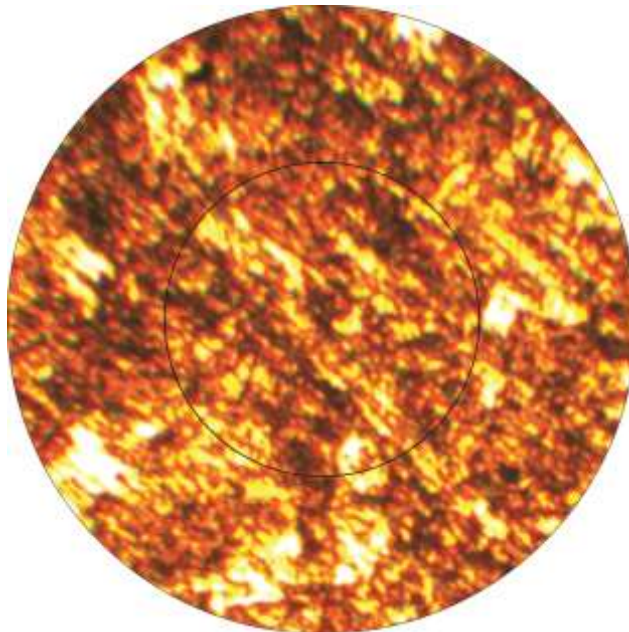
Gambar 6. Foto Struktur Mikro untuk Arus 90A Pada Bentuk Kampuh V

Pada Kampuh V Arus 110 A



Gambar 7. Foto Struktur Mikro untuk Arus 110A Pada Bentuk Kampuh

Pada Kampuh V Arus 130 A



Gambar 7. Foto Struktur Mikro untuk Arus 130A Pada Bentuk Kampuh V

BIODATA PENULIS



M Syujuan Al Khotasa Lahir di P.Siantar, 20 April 1992 dan merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Pendidikan SD ditempuh di SD 101788 Medan, Sumatra Utara. Sedangkan SMP di tempuh di SMP Al-Azhar Medan dan SMA di tempuh SMAN 1 Medan. Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikannya di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama berkuliah, Penulis pernah menjadi *Staff* Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan Departemen Minat dan Bakat tahun 2013-2014 dan Kepala Departemen Minat dan Bakat Himpunan Mahasiswa Teknk Kelautan tahun 2014-2015.

Pada tahun 2015, penulis melaksanakan Kerja Praktek di PT PAL Indonesia Divisi Rekayasa Umum Surabaya selama dua bulan. Pada bulan Agustus 2015, Penulis mulai mengerjakan Tugas Akhir sebagai syarat kelulusan Pendidikan Sarjana (S1) dengan mengambil Bidang Keahlian Perancangan dan Produksi Bangunan Laut. Judul Tugas Akhir penulis berjudul **Analisa Pengaruh Variasi Arus dan Bentuk Kampuh Las pada Pengelasan SMAW terhadap Kekuatan *Impact* Sambungan *Butt Joint* Pada Plat Baja A36**, diselesaikan dalam waktu satu semester.

Kontak dengan penulis: aansioregar@yahoo.com